

REPUBBLICA ITALIANA



REGIONE SICILIANA

PRESIDENZA

AUTORITÀ DI BACINO DEL DISTRETTO IDROGRAFICO

DELLA SICILIA



Strategia regionale di azione per la lotta alla desertificazione

Indice

1	<i>Premessa e quadro di riferimento normativo (AdB)</i>	4
2	<i>Il fenomeno della desertificazione</i>	5
2.1	Premessa e definizioni.....	5
2.2	Inquadramento generale del processo di desertificazione	7
2.3	Le aree a rischio di desertificazione -generalità	8
2.4	Zone della terra interessate.....	9
2.5	Le cause della desertificazione.....	12
2.5.1	Fattori predisponenti	12
2.5.2	Cause naturali.....	12
2.5.3	Cause antropiche.....	13
2.6	Conseguenze della desertificazione sull'ambiente e sull'uomo	16
2.7	Lotta alla desertificazione.....	18
2.8	Indici climatici di predisposizione alla desertificazione	19
2.8.1	Indici climatici.....	20
3	<i>Gli studi sulla desertificazione in Sicilia</i>	24
3.1	Applicazione dei metodi per la valutazione del fenomeno di desertificazione	24
3.2	Progetto Pilota per la Lotta alla Desertificazione della Regione Siciliana	25
3.2.1	Studio dei trend temporali delle principali variabili climatiche.....	25
3.2.2	I dati utilizzati	26
3.2.3	Analisi dei trend delle serie di precipitazione (1921-2000).....	27
3.2.4	Analisi dei trend delle serie di temperatura (1924-2006)	29
3.2.5	Analisi dei trend degli indici climatici (1924-2000).....	31
3.2.6	Considerazioni emerse dall'analisi dei risultati	36
3.3	La carta della sensitività alla desertificazione in Sicilia.....	37
3.3.1	Premessa	37
3.3.2	Iter storico degli studi volti all'individuazione della sensitività alla desertificazione	38
3.3.3	Il modello MEDALUS applicato alla Regione Sicilia	40
3.3.4	Carta dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI).....	42
3.3.5	Carta dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)	53
3.3.6	Carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)	61
3.3.7	Carta dell'Indice di Qualità della Gestione del Territorio (MQI).....	70

3.3.8	Calcolo dell'Indice delle Aree Sensibili alla desertificazione (ESAI).....	77
3.3.9	Sintesi dell'analisi di sensitività alla desertificazione	79
4	<i>La strategia Regionale</i>	81
4.1	Gli Obiettivi della strategia	81
4.2	Le azioni regionali	81
5	<i>Bibliografia</i>	110

1 Premessa e quadro di riferimento normativo (AdB)

La desertificazione sta sempre più assumendo la connotazione di problema globale. Essa è definita come "il processo che porta ad una riduzione irreversibile della capacità del suolo di produrre risorse e servizi" (FAO-UNEP-UNESCO, 1979), ovvero di supportare la produzione di biomassa a causa di variazioni climatiche e di attività antropiche

Il concetto di desertificazione è stato ripreso ed aggiornato in più occasioni per arricchirsi di elementi che aiutino una migliore identificazione del processo. Recentemente, nell'ambito della Convenzione Internazionale delle Nazioni Unite sulla lotta alla Siccità e Desertificazione (UNCCD, 1994), la desertificazione viene espressa in termini di "degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali variazioni climatiche ed attività umane", che circoscrive il suo ambito di intervento territoriale in funzione delle caratteristiche climatiche introducendo esplicitamente fra le cause del fenomeno oltre all'azione dell'uomo anche le variazioni climatiche.

Con la legge 4 giugno 1997 n. 70 lo Stato Italiano ha ratificato e dato esecuzione alla convenzione delle Nazioni Unite sulla lotta alla siccità e alla desertificazione, prevedendo la predisposizione di Piani d'Azione Nazionali. Successivamente, al fine di adottare misure durevoli di lotta alla desertificazione, con deliberazione 21 dicembre 1999 n. 299 del Comitato Interministeriale per la Programmazione Economica, è stato adottato il programma di azione nazionale per la lotta alla siccità e alla desertificazione.

La predetta delibera aveva, altresì, previsto in una prima applicazione che le Regioni e le Autorità di Bacino trasmettessero entro il 31 maggio 2000 l'indicazione delle aree vulnerabili alla desertificazione corredata dei programmi delle misure e degli interventi secondo le indicazioni specificate nella predetta delibera.

Successivamente a tale fase iniziale, il Dlgs. 152/2006 all'art. 93 ha demandato alla pianificazione di distretto e alla sua attuazione l'adozione di specifiche misure di tutela secondo i criteri previsti nel piano d'azione di cui alla delibera CIPE 22/12/1998.

La necessità di attuare una politica complessiva per il contrasto e la mitigazione dei fenomeni di desertificazione è stata ulteriormente ribadita dalla strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici che individua tra i settori d'intervento proprio quelli contro la desertificazione.

Il quadro di riferimento sopra delineato evidenzia la necessità di questa Regione di adottare una governance unitaria di coordinamento e integrazione sinergica delle azioni nei vari settori d'intervento che costituisca il riferimento per la pianificazione di settore e indichi le priorità nella programmazione delle risorse a valere sui fondi regionali, statali e comunitari.

Il presente documento descrive la strategia regionale elaborata con il supporto del Comitato Tecnico Scientifico ex art. 3 della l.r. 8 maggio 2018 n. 8

2 Il fenomeno della desertificazione

2.1 Premessa e definizioni

Il fenomeno della desertificazione si interseca con altri processi come la siccità e l'inaridimento che hanno, per loro natura, una maggiore caratterizzazione nel contesto della disponibilità idrica.

È ormai comunemente accettata la distinzione fra siccità, aridità e desertificazione (Yevjevich et al., 1983). Mentre il termine "inaridimento" si riferisce ad una progressiva trasformazione climatica dovuta al permanere di scarse precipitazioni annuali o stagionali, ed il termine "desertificazione" indica un processo lento e in qualche modo irreversibile di riduzione o distruzione del potenziale biologico del suolo, legato a diversi fattori come il clima, le proprietà del suolo e soprattutto le attività umane; infine, il termine "**siccità**" viene correttamente utilizzato per definire il fenomeno naturale temporaneo e casuale di riduzione significativa, di non breve durata e su una rilevante estensione spaziale, della disponibilità idrica rispetto ai valori che possono considerarsi "normali" per la regione in esame. Tale riduzione può essere descritta da una o più variabili idrometeorologiche: innanzitutto precipitazione (che è di gran lunga la più rappresentativa e la più frequentemente considerata), temperatura, deflusso superficiale e sotterraneo, e anche livello dei laghi e degli acquiferi.

I tipi di siccità che riguardano i vari elementi del ciclo idrologico naturale possono essere definiti come siccità meteorologica, agricola o idrologica a seconda del deficit considerato. In particolare, la siccità meteorologica individua una condizione di deficit di precipitazione, rispetto ad una soglia opportunamente prefissata, conseguente alla variabilità delle precipitazioni causata dalle complesse interazioni geofisiche ed oceanografiche e forse anche influenzata dalle interazioni con la biosfera e con le fluttuazioni di energia solare. In conseguenza della siccità meteorologica, si determinano deficit di umidità nel suolo (siccità agricola) e di deflusso negli acquiferi superficiali e sotterranei (siccità idrologica).

Il deficit di umidità (siccità agricola), conseguente alla siccità meteorologica, dipende dall'effetto di immagazzinamento dell'acqua nel suolo, che determina in particolare un ritardo nel manifestarsi del deficit ed una modifica della gravità del deficit in relazione alle condizioni iniziali. Quando gli effetti del deficit si manifestano nei corpi idrici superficiali (rete idrografica) e sotterranei (acquiferi), si può parlare di siccità idrologica intesa come deficit del deflusso superficiale e/o sotterraneo rispetto a valori considerati "normali". In conseguenza del fenomeno naturale di siccità, possono aversi effetti sui sistemi di approvvigionamento idrico (opere di derivazione e regolazione) sotto forma di carenza idrica

(indicata a volte come siccità operativa) e, in relazione alle caratteristiche del sistema socio-economico, anche impatti economici o anche non valutabili in termini economici.

Sia la riduzione di risorsa idrica disponibile che i relativi impatti, oltre che dalla gravità dell'evento siccitoso, dipendono anche dall'efficacia delle misure che vengono adottate sul sistema idrico e/o sul sistema socio-economico.

L'**inaridimento** è un processo di progressivo depauperamento delle riserve idriche spesso legato ad un cronico abbassamento degli acquiferi e/o alla riduzione delle portate medie e minime dei corsi d'acqua. Sulla base di questa definizione l'inaridimento è una caratteristica climatica ed idrologica di un bacino che può essere collegato ad una siccità cronica e cumulativa. L'inaridimento produce una ridotta capacità dei suoli di assorbire e trattenere l'acqua e la progressiva scomparsa di zone umide anche temporanee nonché la riduzione del reticolo idrografico superficiale; inoltre, contribuisce anche alla riduzione della piovosità locale a causa della minore significatività dell'evapotraspirazione.

Il Ministero dell'Ambiente (1999) ha identificato le regioni aride in ragione della scarsità di precipitazione (aree con meno di 200-500 mm annui) e della forte evaporazione che sottrae umidità al terreno.

Il concetto di **desertificazione** si è progressivamente evoluto nel corso degli anni nel tentativo di definire un processo che, seppur caratterizzato da cause locali, sta sempre più assumendo la connotazione di problema globale. Essa è stata definita originariamente come "il processo che porta ad una riduzione irreversibile della capacità del suolo di produrre risorse e servizi" (FAO-UNEP-UNESCO, 1979), ovvero di supportare la produzione di biomassa a causa di variazioni climatiche e di attività antropiche. Un elemento comune che inconfutabilmente associa le aree soggette a desertificazione è infatti costituito dalla progressiva riduzione dello strato superficiale del suolo e della sua capacità produttiva.

In base ad un criterio di produttività biologica, la Conferenza delle Nazioni Unite sulla Desertificazione, tenutasi a Nairobi nel 1977, aveva già adottato una definizione di desertificazione ("riduzione o distruzione del potenziale biologico del terreno che può condurre a condizioni desertiche") che prescindeva dalla collocazione geografica (polari o tropicali) delle aree colpite, dalle loro caratteristiche climatiche, dalle cause (naturali o antropogeniche) e dai processi (salinizzazione, erosione, deforestazione ecc.) all'origine della degrado del potenziale biologico del suolo.

Il concetto di desertificazione è stato successivamente ripreso ed aggiornato in più occasioni per arricchirsi di elementi che aiutino una migliore identificazione del processo. Recentemente, è stato ripreso nell'ambito della Convenzione Internazionale delle Nazioni

Unite sulla lotta alla Siccità e Desertificazione (UNCCD, 1994), che definisce la desertificazione in termini di "degrado delle terre nelle aree aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali variazioni climatiche ed attività umane", circoscrivendo il suo ambito di intervento territoriale in funzione delle caratteristiche climatiche introducendo esplicitamente fra le cause del fenomeno oltre all'azione dell'uomo anche le variazioni climatiche.

2.2 Inquadramento generale del processo di desertificazione

Il processo di desertificazione ha inizio in aree limitate e procede a macchia e per fasi successive, subendo bruschi peggioramenti durante i periodi particolarmente asciutti o regressioni durante quelli più umidi. Tale fenomeno non deve essere considerato soltanto nel suo stadio finale, bensì in quel complesso processo innescato ed alimentato dalla combinazione di un insieme di fenomeni quali:

- erosione del suolo;
- variazione dei parametri strutturali del suolo;
- salinizzazione;
- rimozione della coltre vegetale e del materiale rigenerativo;
- variazioni del regime pluviometrico;
- interazioni tra la superficie terrestre e l'atmosfera, etc.

La degradazione delle terre assume il significato di una riduzione della produttività biologica e/o economica e della complessità delle colture, dei pascoli, delle foreste, dovuta all'utilizzazione del suolo, ad un processo o ad una combinazione di processi tra i quali erosione idrica ed eolica, alterazione delle proprietà fisiche, chimiche e biologiche dei suoli, distruzione o cambiamenti della copertura vegetale.

Le aree degradate sono cresciute in Europa, tra il 1900 e il 1970 del 40%, soprattutto a causa di uno sfruttamento irrazionale delle aree a clima sub-arido (Carta dei Suoli Europea); successivamente le pratiche agricole irrazionali, il sovrapascolamento, la deforestazione, gli incendi e i processi di urbanizzazione ne hanno successivamente quadruplicato l'estensione (Drò, 1992). L'intensificarsi delle attività umane ha avuto, inoltre, come effetto la diminuzione della resilienza degli ecosistemi delle terre aride.

Tra le cause predisponenti devono essere annoverate anche pratiche culturali scorrette e l'abbandono del suolo agrario sulla base di modifiche socio-economiche del territorio; quest'ultimo comporta, oltre a perdita di ricchezza, l'impoverimento della coltre vegetale, soprattutto nel caso di abbandono di coltivazioni arboree (frutteti, bosco produttivo) e di

coltivazioni su terrazzamenti. In particolare, in quest'ultimo caso, col deperimento e crollo dei pendii o muretti di sostegno dei terrazzi, si ha un forte aumento dell'erosione superficiale.

Le pratiche agricole improprie, quali l'aratura a rittochino, l'eccessivo sfruttamento dei suoli, l'uso di acque ad elevato contenuto salino sono causa del degrado del suolo, di erosione accelerata, di salinizzazione per contrastare le quali, occorre sostenere pratiche sostenibili.

L'Europa non è immune dal problema, anzi, si stima che il 65% delle aree agricole aride, semi-aride, secco-subumide europee siano già colpite. Le aree a rischio in Europa sono concentrate nei Paesi mediterranei. Per questo la UNCCD comprende un Annesso IV dedicato al Mediterraneo del Nord di cui fa parte l'Italia.

2.3 Le aree a rischio di desertificazione -generalità

Quando si parla del fenomeno di desertificazione bisogna innanzitutto sottolineare come questo termine non abbia una definizione univoca; nel tempo ne sono state date varie interpretazioni, tra cui le più importanti sono:

- “La creazione di condizioni simili a deserto risultanti da processi di erosione” (Auberville, 1949)
- “La riduzione o distruzione del potenziale biologico della terra che può condurre a condizioni desertiche. E' un aspetto di degradazione dell'ecosistema conseguente a una consistente riduzione nel loro potenziale biologico...” (Programma ambientale delle nazioni unite, UNEP, 1977);
- “Il processo che porta ad una riduzione irreversibile della capacità del suolo di produrre risorse e servizi” (Organizzazione per l'alimentazione e l'agricoltura, FAO, Organizzazione delle nazioni unite per l'educazione la scienza e la cultura UNESCO, UNEP, 1979);
- “L'impoverimento di ecosistemi terrestri sotto l'effetto dell'impatto umano, che può essere misurato attraverso la riduzione di produttività di specie utili, la riduzione di biomassa e la riduzione di biodiversità nella micro e macrofauna e flora, e l'accelerata degradazione del suolo” (Dregne, 1983);
- “Tutte le espressioni comprese per indicare i processi socio-economici, naturali e antropici, che causano una modifica nel suolo, nella vegetazione, nell'atmosfera e nel bilancio idrico di regioni caratterizzate da aridità indotta da fattori edafici e climatici” (FAO/UNEP, 1984);

- “Degradazione del suolo e delle risorse idriche in aree aride, semiaride e secche/subumide, dovuta principalmente agli impatti antropici negativi” (UNEP, 1991).

Oggi la definizione ufficiale di **desertificazione** è quella elaborata durante la Conferenza delle Nazioni Unite su Ambiente e Sviluppo (Rio, 1992), in termini di “degrado delle terre nelle zone aride, semi-aride e sub-umide secche, attribuibile a varie cause, fra le quali le variazioni climatiche e le attività antropiche”. Questa definizione, recepita nell’ambito della Convenzione Internazionale delle Nazioni Unite sulla lotta alla Siccità e Desertificazione (UNCCD), è considerata profondamente innovativa rispetto alle definizioni precedenti in quanto il degrado del suolo è visto sia in termini di degrado fisico-chimico sia in termini di perdita della redditività economica derivante dalla sua coltivazione; inoltre evidenzia come la desertificazione può essere determinata dal sovrapporsi di cause di origine naturale ed antropica.

Legata alla desertificazione, ma sotto certi aspetti diversa è la problematica della desertizzazione; con tale termine si indica, invece, l’avanzamento dei deserti che si registra in alcune aree del nostro pianeta.

2.4 Zone della terra interessate

Le zone potenzialmente più esposte alla desertificazione sono quelle aride e semiaride, che rappresentano oltre il 30% della superficie terrestre, soprattutto quelle in prossimità delle aree desertiche del pianeta.

I deserti, veri e propri, rappresentano circa il 7% delle terre emerse. Attorno ai deserti si estendono poi delle aree semidesertiche che possono andare incontro alla desertificazione in funzione dei cambiamenti climatici o a causa dello sfruttamento non sostenibile da parte dell’uomo.

Tuttavia, negli ultimi decenni, anche le regioni a clima temperato come l’Europa, in particolare i Paesi del Bacino del Mediterraneo, sono state interessate da fenomeni di desertificazione causati da un uso non sostenibile del suolo, nonché dalla concomitanza tra aumento delle temperature e riduzione delle precipitazioni.

I dati che si riferiscono alla desertificazione, alla sua evoluzione e ai suoi innumerevoli risvolti ambientali, economici e sociali sono in parte condizionati dalla complessità insita nel gran numero di variabili naturali, antropiche, politiche e sociali che interagiscono tra di loro.

Secondo il “Rapporto 1998 su Lo sviluppo Umano” delle Nazioni Unite , “Dal 1945, quasi 2 miliardi di ettari sono stati degradati cioè più di un sesto dei terreni produttivi del mondo, riducendo la capacità della terra di sopportare le attività umane. In circa due terzi di tale area, pari alla Cina e all’India, la produttività agricola si è notevolmente ridotta o è stata annullata e i Paesi in via di sviluppo, in particolare l’Africa e l’Asia, hanno sopportato più dell’80% del danno: quasi la metà delle terre degradate nel mondo si trova in Asia e circa 500 milioni di ettari sono modestamente o seriamente compromessi in Africa – due continenti che nell’insieme hanno due terzi dei poveri del mondo. La coltivazione eccessiva, il pascolo intensivo e l’abbattimento delle foreste rilevano ognuno per il 30% del danno, e lo sfruttamento eccessivo della legna da ardere per un altro 7%”.

Secondo l’UNEP, Programma Ambientale delle Nazioni Unite (1997), il 69% dei 5,2 miliardi di ettari di terre emerse è in una situazione di degrado o è soggetta a desertificazione e il 70% dei terreni aridi utilizzati in agricoltura si sta degradando.

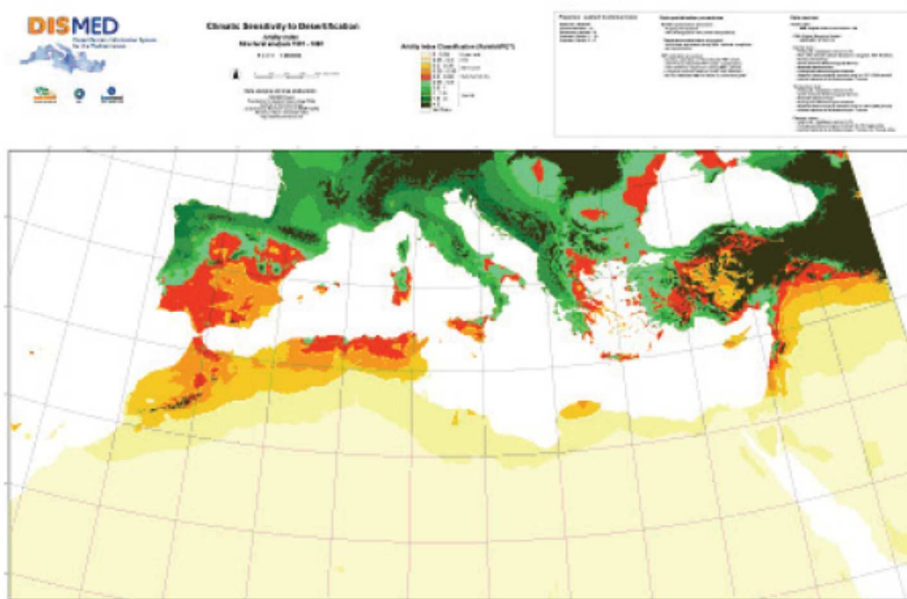


Figura 2-1 Aree sensibili alla desertificazione nel bacino del Mediterraneo progetto DISMED 2003, scala 1:5.000.000

In Europa, secondo i dati pubblicati nel 1998 dal rapporto del Programma delle nazioni unite per lo sviluppo (UNDP), si stima che le aree di suolo degradato siano pari a circa 219 milioni di ettari e che il 25% delle terre interessate dall’agricoltura e il 35% circa dei pascoli sono in una condizione di rischio. Si sottolinea che il primo tentativo di applicazione di una metodologia comune a livello del bacino del Mediterraneo è stato compiuto dal progetto DISMED, Desertification Information System for the Mediterranean coordinato

dall'UNCCD, in collaborazione con l'Agenzia Europea per l'Ambiente e la Fondazione di Meteorologia Applicata.

Questo studio ha portato all'individuazione delle aree a rischio desertificazione nei Paesi che si affacciano sul Mediterraneo e si è basato su un indice di sensibilità alla desertificazione a sua volta funzione di un indice di qualità della vegetazione, di un indice di qualità del clima e di uno di qualità del suolo. Dai risultati è poi emerso che la Spagna è il Paese più a rischio in Europa, come si evince in Figura 2-1, mentre tra le regioni italiane quella più a rischio è la Sicilia (Figura 2-2).

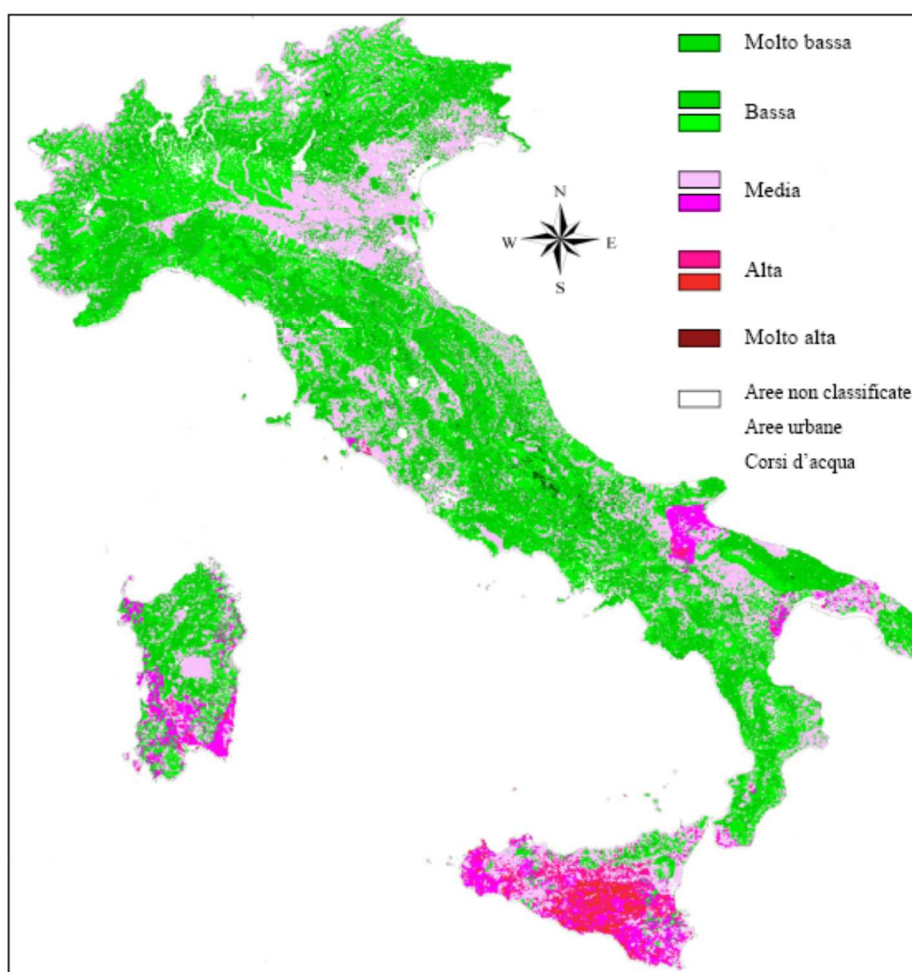


Figura 2-2 Classificazione del territorio italiano in base al rischio di desertificazione, progetto DISMED 2003

2.5 Le cause della desertificazione

La desertificazione è un problema complesso e le sue cause vanno ricercate nella interazione tra fattori predisponenti, cause di origine naturale e cause antropiche, tanto che spesso risulta anche difficile capire fino a che punto una causa è da attribuire alla natura o all'azione dell'uomo.

2.5.1 Fattori predisponenti

I fattori predisponenti che possono favorire le forme di degrado sono molteplici, tra questi si possono considerare l'intrinseca fragilità di molti ecosistemi, spesso già alterati dall'urbanizzazione e dall'inquinamento e dunque incapaci di opporsi con efficacia e prontezza alle trasformazioni esterne. Anche l'aspetto pedologico e morfologico svolge un ruolo fondamentale, infatti zone ad elevata pendenza sono maggiormente soggette a fenomeni di erosione con conseguente mancanza di struttura del terreno, scarso contenuto di sostanza organica e scarsa permeabilità. Inoltre, i versanti che sono esposti a sud, nell'emisfero boreale e a nord, nell'emisfero australe, ricevono un flusso di radiazione solare maggiore rispetto agli altri, ciò determina condizioni microclimatiche sfavorevoli alla rigenerazione della vegetazione naturale, una volta rimossa dall'azione diretta o indiretta dell'uomo. La pendenza e l'esposizione concorrono quindi a determinare la vulnerabilità del territorio a fenomeni erosivi di tipo meteorico. Al degrado del suolo è associata anche la degradazione della copertura vegetale, specie se essa non è abituata a resistere a lunghi periodi di siccità; un degrado del suolo e della vegetazione finisce per ripercuotersi anche sulla fauna sconvolgendo così l'intero ecosistema.

2.5.2 Cause naturali

Le cause naturali della desertificazione sono da ricercare essenzialmente nella scarsità delle precipitazioni, specie se associate ad elevati valori delle temperature. In questo contesto si inquadrano i problemi di aridità e di siccità climatica di una regione, definiti precedentemente. Altra causa del fenomeno può essere considerata l'intensità delle precipitazioni; infatti, quando precipitazioni brevi e intense colpiscono terreni privi di copertura vegetale, il ruscellamento rimuove dal terreno lo strato superficiale più ricco di sostanza organica, dando vita, col tempo, a forme di erosione estrema come i calanchi. Le zone aride, semiaride e sub-umide secche sono spesso esposte al rischio di piogge brevi, ma intense, che, invece di mitigare gli effetti della scarsità delle precipitazioni, provocano fenomeni erosivi e quindi incrementano la desertificazione stessa.

Nelle zone aride e semiaride un'ulteriore causa naturale di desertificazione è costituita dall'azione erosiva del vento; l'erosione eolica avviene per dissipazione dell'energia del vento sul terreno o sui materiali di copertura, quali la vegetazione. Spesso in questi climi l'azione di sgretolamento delle rocce e dei terreni è causata non solo dall'azione erosiva del vento, ma anche dalle forti escursioni termiche tra il giorno e la notte che provocano delle dilatazioni e delle contrazioni che progressivamente distruggono la roccia stessa.

2.5.3 Cause antropiche

Le cause antropiche della desertificazione sono molteplici tra di esse un ruolo importante spetta alla trasformazione degli ecosistemi forestali in ecosistemi agricoli che ha predisposto al rischio di degrado ampie porzioni della superficie terrestre. Il disboscamento provoca, infatti, una forte riduzione della capacità di ritenzione idrica da parte del suolo; inoltre, si verifica l'asportazione dello strato organico di superficie, a causa delle piogge, ossia quello strato maggiormente responsabile della regolazione dei deflussi idrici e dell'attività biologica del suolo. Anche il decespugliamento è una pratica dannosa perché scopre il suolo, accentuando l'erosione, altera il microclima e danneggia la fauna presente. Le azioni di deforestazione sono principalmente causate dalla competizione esistente tra i diversi usi del territorio e quindi costituiscono il risultato dello scontro tra le forze ambientali, sociali, politiche e culturali presenti in un certo territorio. Il carattere spesso non sostenibile di tali attività è legato alla necessità di soddisfare diverse esigenze economiche; in particolare, si stima che il settore agricolo nel corso dei prossimi 25 anni richiederà dai 250 ai 300 milioni di ettari di nuove terre per soddisfare la domanda delle aziende, delle colture di sussistenza e della pastorizia, a spese delle foreste tropicali. La deforestazione inoltre può determinare conseguenze negative in termini di riscaldamento climatico globale dovuto all'aumento di CO₂ in atmosfera e può provocare anche drastici cambiamenti microclimatici che comportano alterazioni in termini di produttività e di funzionalità degli ecosistemi.

Spesso la deforestazione è seguita da una agricoltura intensiva che sfrutta in maniera non sostenibile il suolo, causandone la completa perdita di fertilità. I processi di degrado del suolo sono il risultato dell'uso, a volte erroneo, dei mezzi di produzione come fertilizzanti e acqua. In questo senso, un ulteriore aggravio della situazione è stato causato in epoca recente dall'uso dei mezzi meccanici che causano la compattazione del terreno e riducono la fertilità chimico-fisica dello strato di suolo arato, ma anche dalla potenza dei trattori che permettono sistemazioni artificiali delle superfici collinari causando delle modifiche alla morfologia naturale del territorio e dunque alterando i naturali percorsi del

deflusso superficiale. Il substrato organico, da elemento principale nel determinare le scelte produttive, è divenuto oggi un elemento secondario, comunque sostituibile con concimi artificiali prodotti industrialmente. Si trascura il ruolo della sostanza organica quale elemento regolatore della fertilità fisica e microbiologica del suolo, per l'effetto delle sostanze colloidali sulla struttura del terreno e della capacità di ritenzione idrica, entrambi elementi benefici e contrastanti i processi di erosione superficiale.

La zootecnia specie nelle sue forme intensive, ha modificato l'uso del territorio, causando da una parte fenomeni di inquinamento a causa della necessità di smaltimento delle deiezioni animali, dall'altra ha causato un maggiore sfruttamento delle aree adibite a pascolo, specialmente quelle meglio servite da acqua, strade e servizi, con conseguenti fenomeni di degrado della vegetazione, compattazione ed erosione dei suoli. Viceversa, in altre aree, meno raggiungibili si sta verificando la sottoutilizzazione di pascoli naturali gradualmente in fase di riconquista da parte del bosco.

In seguito allo sfruttamento eccessivo da parte dell'agricoltura e della zootecnia il terreno finisce per essere improduttivo nel senso che la sua coltivazione non è più conveniente dal punto di vista economico; ciò genera un fenomeno noto come abbandono delle terre, fenomeno che può essere connesso a fattori legati all'ambiente fisico, alla gestione territoriale e al contesto socioeconomico. Per quanto riguarda i fattori ambientali, il principale fattore limitante è la disponibilità idrica, che dipende dalle condizioni climatiche e dalla capacità di immagazzinamento idrico del suolo e che quindi limita la crescita delle piante. Diversi possono essere le motivazioni socioeconomiche che portano all'abbandono delle terre. Il rapido sviluppo delle attività turistiche, dell'urbanizzazione e l'intensificazione dell'agricoltura nelle aree costiere del Mediterraneo, ha determinato la migrazione dalle zone più interne e conseguentemente l'abbandono di molte zone a se stesse. Sebbene in alcune aree i terreni abbandonati siano oggi soggetti ad un fenomeno di ripopolamento da parte di flora e di fauna, si tratta comunque di zone isolate e di modesta estensione. Inoltre gli ecosistemi non riacquistano la ricchezza di flora e di fauna che avevano prima della loro trasformazione. La maggior parte dei terreni difficilmente possono riprendersi da soli dal deterioramento, anzi il loro abbandono li espone ulteriormente al rischio incendio, all'erosione e a forme di zootecnia molto povere. In sintesi, l'abbandono delle terre è nello stesso tempo un sintomo della perdita di fertilità del terreno, ma esso stesso contribuisce all'aggravio progressivo del fenomeno.

Strettamente legato al fenomeno dell'abbandono delle terre è il crescente fenomeno della litoralizzazione, definita come la concentrazione delle attività economiche e degli insediamenti residenziali nelle aree costiere in conseguenza della crescita urbana, delle

attività industriali, del turismo e dell'irrigazione. In alcuni casi, tale processo può essere associato all'abbandono degli insediamenti e delle terre delle zone più interne e quindi ad un flusso di popolazione dall'interno verso la costa; quindi, la litoralizzazione e l'abbandono delle terre costituiscono due aspetti della medesima problematica, tipica di molte aree del Mediterraneo del Nord e in particolare della penisola iberica. Questo problema può causare un profondo squilibrio sociale ed un crescente sfruttamento delle risorse naturali nelle aree costiere. L'urbanizzazione delle zone litoranee può risultare particolarmente rischiosa per il contesto ambientale costiero, che già presenta elementi di notevole vulnerabilità intrinseca; il forte prelievo di acqua nelle zone costiere può, infatti, causare un abbassamento nel livello delle falde freatiche, comportando l'infiltrazione di acqua marina nel sottosuolo e la progressiva salinificazione delle falde, inoltre si verifica un intenso sfruttamento dei suoli a scopo insediativo, determinando, di conseguenza, la perdita dei tradizionali usi del territorio. Le aree umide e i sistemi dunali, in prossimità delle coste, che costituiscono aree di riposo, migrazione e ripopolamento degli uccelli migratori, vengono solitamente bonificati e cementificati. L'urbanizzazione delle zone costiere, spesso nelle vicinanze delle foci dei fiumi, espone ulteriormente la popolazione al rischio di alluvioni e disastri idrogeologici.

Questi problemi ambientali diffusi nel Mediterraneo del nord, sono più intensi in quelle aree dove le politiche di sviluppo economico hanno favorito il turismo di massa nel periodo estivo, introducendo nuovi schemi di urbanizzazione, caratterizzati da alti consumi di terra procapite e standard di qualità di vita più esigenti. La pressione esercitata da questi movimenti di massa stagionali causa un impatto sul contesto ambientale, economico, culturale, che in alcuni casi può favorire lo sviluppo, ma in molti altri favorisce l'alterazione dei fragili equilibri. Alla litoralizzazione non sostenibile di molte delle coste, contribuiscono, da oltre quarant'anni, i fenomeni di abuso edilizio di tipo essenzialmente residenziale che purtroppo non sono mai stati adeguatamente contrastati.

Gli incendi, quasi sempre di origine antropica, sono un'altra causa della desertificazione, essi infatti distruggono boschi e foreste che hanno impiegato decenni o secoli a formarsi e che non riacquisteranno facilmente la ricchezza di flora e di fauna preesistente l'incendio stesso. Le alte temperature dovute al fuoco possono anche avere effetti negativi sulle proprietà fisico-chimiche del terreno, esse causano cambiamenti nella sua struttura rendendolo meno permeabile e, quindi, più esposto a processi erosivi. Con l'incendio, si formano sostanze idrorepellenti che accelerano lo scorrimento superficiale e quindi il trasporto solido. Gravi problemi idrologici si sviluppano pressoché sistematicamente nelle aree bruciate acclivi nella prima stagione piovosa immediatamente

successiva all'incendio per effetto di tali fenomeni chimici e a causa del mancato effetto di trattenuta del terreno ad opera delle radici.

Un utilizzo errato delle risorse idriche è una delle cause principali della desertificazione, spesso nei Paesi, soprattutto in quelli industrializzati; si assiste ad un uso dissennato della risorsa idrica, caratterizzato da prelievi eccessivi e non pianificati nonché dall'inquinamento puntiforme e diffuso di origine urbana, agricola e industriale. Altro grave aspetto è costituito dalle perdite nella rete di distribuzione che in alcuni casi arrivano a percentuali elevate. L'incremento dei fabbisogni idrici dovuto alla crescente urbanizzazione, all'aumento del consumo procapite e al passaggio ad una agricoltura di tipo intensivo, ha portato ad un eccessivo prelievo dalle falde sotterranee, causandone l'abbassamento. Questo fenomeno può produrre delle modificazioni nei rapporti idraulici fra falde sotterranee e corsi d'acqua superficiali. In prossimità della costa, l'abbassamento della falda causa il richiamo di acque marine, causando la salinizzazione delle falde, problema reso sempre più grave dalla concentrazione della popolazione sulla costa.

2.6 Conseguenze della desertificazione sull'ambiente e sull'uomo

Le desertificazione porta a processi degenerativi delle risorse suolo, vegetazione ed acqua che si evidenziano sotto forma di degrado chimico, fisico e biologico. Incalcolabili sono anche le conseguenze sulle popolazioni che vivono nelle aree degradate a causa della mancanza di acqua e di cibo, spesso a livelli tali da sterminare interi popoli costringendo molti all'emigrazione.

Tra i processi di degradazione di origine chimica del terreno un ruolo di primo piano spetta alla salinizzazione. In molti Paesi le pianure costiere, specialmente nelle zone più prossime al mare, presentano notevoli problemi per quanto riguarda la salinità dei suoli. Il massiccio emungimento delle acque dolci sotterranee per uso irriguo e per uso urbano causa un abbassamento della falda nelle zone costiere determinando l'ingresso dell'acqua marina negli acquiferi. Ciò implica che, in alcune zone, si irriga con acque sempre più salate, soprattutto se le caratteristiche di permeabilità del substrato non consentono una spontanea perdita di sali verso gli strati più profondi. Un drenaggio imperfetto, legato alla presenza di strati impermeabili, spesso presenti nel sottosuolo di terreni alluvionali costieri, causa il permanere, in superficie, di acqua troppo ricca di sali. I suoli salinizzati occupano a livello globale una superficie di 954 milioni di ettari, corrispondenti a poco più del 10% delle terre emerse (Szabolcs, 1989) ed aumentano con un ritmo pari a 2.000.000 di ettari l'anno. Dei 227 milioni di ettari di terreni irrigati ben 76,6 milioni presentano i caratteri propri dei suoli salini e di essi il 20% (Szabolcs, 1989) è interessato da salinità indotta dall'azione dell'uomo. Per quanto riguarda i Paesi che si affacciano sul mar

Mediterraneo, questi suoli occupano una superficie di circa 20 milioni di ettari, di cui 450.000 si trovano in Italia, anche se, secondo Fierotti, (1999), si tratta di un dato sottostimato per il forte aumento delle aree irrigue negli ultimi decenni. In Italia non si conosce in maniera precisa l'estensione delle terre affette da salinità e mappe dettagliate del fenomeno sono disponibili solo per poche aree. Processi di salinizzazione sono comunque evidenti nella fascia meridionale della Sicilia e sono legati ai consistenti prelievi di acqua di falda a scopo agricolo, mentre nei territori di Gela e Licata l'utilizzo delle acque del fiume Salso, a causa della loro elevata salinità, causa la formazione di un crostone superficiale che rende i suoli improduttivi.

Altro aspetto della degradazione chimica è la perdita di sostanza organica, considerata uno degli indicatori più importanti di desertificazione. Ciò è dovuto al ruolo fondamentale che essa svolge nel terreno costituendo uno dei principali fattori di ciò che comunemente viene definita la fertilità di un terreno. In linea generale, i processi che regolano l'evoluzione della sostanza organica sono alquanto complessi ma riconducibili a reazioni di tipo degradativo di mineralizzazione e di sintesi o umificazione. Nel suolo i due processi tendono all'equilibrio, assicurando il mantenimento della componente organica ad un livello ottimale che è funzione del clima, delle caratteristiche pedologiche e degli eventuali interventi agronomici. I suoli naturali generalmente presentano un buon livello di sostanza organica, mentre i suoli coltivati, presentano spesso un livello di sostanza organica basso. Questo è determinato da vari fattori tra cui le diminuite concimazioni e l'eliminazione dei residui vegetali dalla superficie del suolo che impediscono un naturale riformarsi dello strato di humus, dalle lavorazioni eccessive che provocano uno sminuzzamento sia degli aggregati che della stessa sostanza organica con perdita dell'attività biologica e della biodiversità, dal regime monocolturale e dall'agricoltura intensiva.

I processi di degradazione di origine fisica dei terreni comprendono principalmente l'erosione e la compattazione. L'erosione, fenomeno alquanto diffuso nel territorio regionale, è dovuta essenzialmente all'azione dell'acqua, sotto forma di pioggia battente e di scorrimento superficiale, in alcune regioni un ruolo importante viene svolto anche dall'azione erosiva del vento. L'erosività della pioggia, a sua volta espressione dell'aggressività climatica, va di pari passo con l'erodibilità, ossia la predisposizione del suolo a subire processi erosivi. L'erosione idrica si esplica, infatti, più intensamente su terreni privi o con scarsa copertura vegetale, caratterizzati da forte acclività e sviluppati su substrati litologici appartenenti a formazioni sedimentarie argillo-sabbiose. Nelle zone soggette a forte erosione diventa problematico intervenire anche con la realizzazione di invasi che possano raccogliere l'acqua dei mesi più piovosi per poi utilizzarla durante l'anno. Questi invasi sono caratterizzati da, un elevato tasso di interrimento che ne

pregiudica l'utilizzo ottimale nell'arco di pochi anni. La compattazione, causata dai mezzi meccanici, determina la distruzione della porosità naturale del suolo con conseguente riduzione della capacità d'infiltrazione dell'acqua ed incremento del ruscellamento. Questo processo interessa solitamente terreni dalla natura argillosa che si compattano maggiormente di altri.

Infine i processi di degradazione di origine biologica sono essenzialmente costituiti dalla perdita di sostanza organica la quale per natura nel suolo è sottoposta a processi di umificazione e mineralizzazione ad opera della flora microbica che ne garantiscono l'equilibrio e il rinnovo. I suoli degradati, risultando impoveriti nel contenuto di tali microrganismi, vedono ridursi il contenuto in humus, oltre che dei minerali indispensabili al sostegno delle produzioni agricole.

La desertificazione causa anche una diminuzione della biodiversità intesa come totalità dei patrimoni genetici delle specie e degli ecosistemi. L'intenso sfruttamento del suolo produce un impatto sul patrimonio naturale, stimabile in un determinato numero di specie a rischio di estinzione. I suoli degradati risulteranno, quindi, meno ricchi di microrganismi e di molteplici specie animali e vegetali importanti per la fertilità, manifestando un grave impoverimento in biodiversità.

La desertificazione è oggi considerata tra i problemi più gravi che colpiscono il pianeta, in quanto, essa ha anche altri effetti, oltre quelli sopra richiamati, particolarmente drammatici, che coinvolgono direttamente le popolazioni umane.

2.7 Lotta alla desertificazione

Le strategie e i metodi per contrastare la desertificazione sono molteplici così come sono molteplici le cause che la determinano. Se si vuole andare ad intervenire in un'area è necessario, innanzi tutto, conoscere la storia della regione in modo da individuare gli sviluppi climatici che essa ha attraversato nel corso del tempo. Una lotta efficace alla desertificazione necessita di uno studio attento dell'area in esame per andare ad individuare quali sono nello specifico le cause della desertificazione in quella regione. In tal senso, un valido supporto proviene dai Sistemi Informativi Territoriali e dalle tecnologie di rilevamento satellitare. Individuate le cause devono essere predisposti dei piani di intervento attentamente pianificati che non vadano ad alterare l'ecosistema in cui si interviene. Occorre però considerare che si tratta di interventi costosi che richiedono molto tempo prima di dare i primi frutti. Inoltre un intervento duraturo ed efficace non può prescindere dal coinvolgimento delle popolazioni locali che vivono a contatto con le aree degradate e che spesso hanno concorso al degrado dei loro ecosistemi. In questo caso alla

concreta azione “sul campo” si associa anche una azione di educazione ambientale della popolazione rurale.

Inoltre gli interventi di lotta alla desertificazione possono essere finalizzati semplicemente a bloccarne le cause tramite un sistema di leggi, divieti e aree protette, oppure possono consistere in interventi diretti con rimboschimenti, con la creazione di barriere verdi alla avanzata dei deserti o con opere irrigue e di riassetto idrogeologico.

2.8 Indici climatici di predisposizione alla desertificazione

Per una corretta caratterizzazione del fenomeno della desertificazione è necessario procedere ad uno studio di molteplici variabili climatiche nonché al monitoraggio sistematico delle stesse. Le grandezze più importanti dal punto di vista climatico sono comunque costituite dalla precipitazione, dalla temperatura, dalla velocità del vento, dalla radiazione solare netta, dall'umidità dell'aria. Queste variabili sono solitamente sintetizzate in appositi indici che forniscono un valore immediato in base al quale è possibile prendere delle eventuali decisioni per la lotta alla desertificazione stessa.

Sebbene nessuno degli indici è adattabile a tutte le circostanze, alcuni indici sono ormai di uso comune. Per assolvere bene al suo compito un indicatore del rischio di desertificazione deve:

- sintetizzare un insieme di informazioni in un singolo parametro, facile da interpretare e da comunicare al responsabile delle decisioni;
- non essere eccessivamente semplificato se ciò fa perdere caratteristiche essenziali alla comprensione del fenomeno (ad es. valore medio di una grandezza che presenta una notevole variabilità spaziale);
- consentire di valutare la gravità della situazione corrente con riferimento ad una serie storica che risulti stazionaria nel tempo;
- essere normalizzato, se possibile, in modo da consentire il confronto tra zone diverse;
- essere formulato, se possibile, in termini probabilistici in modo da facilitare la comprensione della pericolosità dell'evento.

In sintesi, può, quindi, affermarsi che la scelta di un indicatore di desertificazione è strettamente connessa all'approccio disciplinare secondo il quale si studia il fenomeno (meteorologico, idrologico, agrario), al tipo di risorsa idrica di prevalente interesse nel territorio considerato e alla disponibilità di osservazioni sulle grandezze necessarie.

2.8.1 Indici climatici

L'indice climatico più semplice è il Pluviofattore di Lang (1916) definito dal rapporto tra la precipitazione media annua in mm P , e la temperatura media annua in °C, T .

$$R = \frac{P}{T} \quad [1]$$

In base ai valori assunti dal precedente rapporto si possono individuare delle zone umide se esso è superiore a 160, zone temperate umide se esso è compreso tra 100 e 160, zone temperate calde se compreso tra 60 e 100, per valori compresi tra 40 e 60 si è nella zona semiarida e infine se inferiori a 40 nella zona steppica.

L'indice di *De Martonne* (1923) è un indice ormai classico, detto indice di aridità, che presenta la seguente formulazione:

$$A = \frac{P}{T + 10} \quad [2]$$

dove P è la precipitazione media annua espressa in mm e T la temperatura media annuale in °C. La popolarità di questa formula proviene senza dubbio dalla sua grande semplicità. Bisogna però notare che l'indice è proporzionale alla precipitazione e inversamente proporzionale alla temperatura, per cui i valori che esso assume sono più alti per le zone più umide e più bassi per le regioni più aride. In particolare se A è inferiore a 5 la regione si trova in uno stato di aridità assoluta, per valori compresi tra 5 e 10 si è nell'aridità, per valori compresi tra 10 e 20 si è in un clima semiarido. Per valori dell'indice compresi tra 20 e 30 il clima della regione può essere considerato subumido, mentre per valori superiori a 30 siamo nella fascia del clima umido.

Negli anni seguenti gli allievi di De Martonne sottolinearono l'importanza di ottenere degli indici su base mensile, specialmente nella stagione estiva. Per rendere gli indici mensili paragonabili a quelli annuali occorre moltiplicare il numeratore per 12 ottenendo quindi il seguente indice:

$$a = \frac{12p}{t + 10} \quad [3]$$

Emberger (1930), ha definito un indice detto "quoziente pluviometrico" adatto per individuare periodi di siccità nel clima mediterraneo, esso assume la seguente espressione:

$$R = 100 \frac{P}{2(M - m)} \quad [4]$$

dove P è la precipitazione media annua in mm, M è la temperatura media massima del mese più caldo, m è la temperatura media minima del mese più freddo. Se l'indice assume valori superiori a 90, allora il clima della regione può essere considerato umido, se i valori sono compresi tra 50 e 90 siamo nella zona subumida, per valori tra 30 e 50 nella zona semiarida, per valori inferiori a 30 nella zona arida. Sempre a Emberger, spetta la definizione dell'indice di umidità, utilizzato per climi mediterranei, esso si calcola in funzione della precipitazione media annua P , della temperatura nel mese più caldo M e di quello più freddo m , entrambe espresse in K.

$$I_E = \frac{2000 * P}{M^2 - m^2} \quad [5]$$

Tale indice cresce proporzionalmente all'umidità dell'area considerata.

L'indice di aridità UNEP, o *aridity index*, è dato dal rapporto tra la precipitazione media annua P , e l'evapotraspirazione potenziale quantificata nello stesso intervallo temporale, ET_0 .

$$AI_T = \frac{P}{ET_0} \quad [6]$$

Dal punto di vista fisico, tale indice rappresenta l'aliquota di acqua che si perde per evapotraspirazione in condizioni standard, rispetto al totale di acqua che è piovuta nella medesima superficie, per cui l'indice è adimensionale. Esso può essere applicato a qualsiasi scala temporale, ma di solito è utilizzato per periodi superiori ai 30 giorni e diventa molto rappresentativo se esso è adoperato per un intervallo temporale di sei mesi. In base al valore assunto dall'indice; una zona si definisce desertica se AI_T è minore di 0,05; arida a rischio desertificazione se esso è compreso tra 0,05 e 0,2; semiarida se esso varia tra 0,2 e 0,5; subumida se compreso tra 0,5 e 0,65 e infine umida se esso è superiore a 0,65.

Crowther ha ricavato un indice di aridità definito come:

$$I_C = P - 0,33T \quad [7]$$

dove P è la precipitazione totale annua in mm e T è la temperatura media annua in °C. L'indice si misura in cm e quindi la quantità 3,3 è una costante di calibrazione avente le dimensioni di cm/°C. L'indice di aridità di Crowther oscilla tra -30 e 40, per valori inferiori a -30, ci troviamo nella zona desertica, per valori compresi tra -30 e -15 nella zona semiarida, se i valori sono compresi tra -15 e 0 allora il clima della regione consente la

crescita di alberi ed erba, per valori tra 15 e 40 il clima è di tipo temperato, se infine l'indice assume valori superiori a 40 la zona è a clima umido.

Thornthwaite (1948) ha definito un indice di umidità che a sua volta risulta combinazione di due indici, uno di umidità e uno di aridità. Infatti in quei periodi dell'anno in cui le precipitazioni sono più abbondanti rispetto al fabbisogno di acqua, il rapporto tra il surplus di acqua e la richiesta di acqua costituisce un indice di umidità. Similmente nelle stagioni in cui la richiesta di acqua supera le precipitazioni disponibili, allora il rapporto tra il deficit di acqua e la richiesta di acqua, costituisce l'indice di aridità. I due indici assumono dunque la seguente formulazione:

$$I_h = \frac{100s}{n}; I_a = \frac{100d}{n} \quad [8]$$

dove I_h è l'indice di umidità, I_a è l'indice di aridità, s rappresenta il surplus di acqua, d il deficit di acqua, mentre n è la necessità di acqua. I due indici vengono, quindi, accorpati in un unico indice, con un rapporto di 10 a 6, in quanto un surplus di acqua in una stagione non compensa completamente una mancanza in un'altra stagione. L'indice finale assume dunque la seguente espressione:

$$I_m = \frac{100s - 60d}{n} \quad [9]$$

In funzione dei valori ottenuti dall'indice si procede poi alla classificazione dell'area oggetto di studio. In particolare, valori dell'indice superiori a 100, individuano un clima iper-umido, valori tra 100 e 20 un clima umido, valori tra 20 e 0 un clima umido-subumido, valori tra 0 e -20 asciutto-subumido, tra -20 e -40 semiarido, tra -40 e -60 un clima arido. Successivamente, l'indice di *Thornthwaite* è stato soggetto di modifiche ed integrazioni che hanno finito, per far perdere quella che era la formulazione originale dell'autore.

Recentemente viene utilizzato un indice, che va sotto il nome di indice di umidità globale, attribuito a *Thornthwaite*, che in realtà non è dell'autore, ma deriva da successive modifiche. Esso assume la seguente formulazione:

$$I_T = 100 \left(\frac{P - ET_p}{ET_p} \right) \quad [10]$$

dove P è la precipitazione totale annua in mm ed ET_p è l'evapotraspirazione potenziale media annua in mm somma dei 12 valori di ET_p media mensile. In base ai valori assunti dall'indice, una regione ha un clima iperumido, se esso è superiore a 100, umido se

compreso tra 100 e 20, subumida se tra 20 e 0, asciutto se tra 0 e -33, semiarido se tra -33 e -67, arido tra -67 e -100.

Bagnouls-Gaussen (1953) ha formulato un indice di aridità che è definito come:

$$BGI = \sum (2T_i - P_i) * K \quad [11]$$

dove, la sommatoria è estesa al periodo dell'anno in cui $2T_i - P_i > 0$, T_i è la temperatura per il mese i-esimo espressa in °C, P_i è la precipitazione totale mensile per il mese i-esimo in mm, K è la frequenza con cui si verifica $2T_i - P_i > 0$ per il mese i-esimo espressa in percentuale.

L'indice radiativo di *Budyko* (1956) propone una classificazione climatica basata su di un bilancio di energia e si esprime come:

$$I_B = \frac{R_n}{\lambda * P} \quad [12]$$

dove R_n è la radiazione netta annua che raggiunge la superficie terrestre, λ è il calore latente di vaporizzazione e P è la precipitazione media annua, i valori assunti dall'indice sono inferiori ad uno in regimi umidi e superiori ad uno in quelli aridi.

3 Gli studi sulla desertificazione in Sicilia

3.1 Applicazione dei metodi per la valutazione del fenomeno di desertificazione

Come si evidenzia dall'esame della letteratura internazionale del precedente capitolo, i principali indicatori del rischio di desertificazione, si possono dividere in due grandi categorie:

- Metodi statistici basati sui soli dati climatici che risultano dalla combinazione delle variabili precipitazione e temperatura: questi metodi offrono una stima del potenziale rischio di desertificazione ma non tengono conto degli effetti dei fattori antropici, dei fattori culturali o legati alla qualità del suolo. Tali metodi offrono la possibilità di valutare la tendenza evolutiva del processo ed associare questa tendenza ad un determinato livello di confidenza.
- Metodi empirici basati su una molteplicità di indicatori climatici, biofisici e socio-economici: tali metodi coinvolgono le diverse famiglie di fattori che possono aumentare o mitigare il rischio di desertificazione ma, allo stesso tempo, offrono un quadro attuale (all'epoca dei dati utilizzati) ma non consentono la stima di una tendenza evolutiva del fenomeno anche in relazione all'impatto dei cambiamenti climatici e non offrono la possibilità di associare un livello di confidenza alla stima.

Modelli statistici e modelli empirici offrono quindi due strumenti complementari che, da un lato, evidenziano la tendenza evolutiva del processo e la relativa incertezza e, dall'altro, evidenziano i fattori che maggiormente determinano il rischio di desertificazione e offrono uno strumento per pianificare interventi di mitigazione.

Entrambi gli approcci sono stati applicati in Sicilia. Nel 2008, nell'ambito del *Progetto Pilota per la Lotta alla Desertificazione della Regione Siciliana*, per evidenziare le aree a rischio desertificazione in Sicilia, si è scelto di utilizzare il pluviofattore di Lang l'indice di aridità UNEP, l'indice di De Martonne alla scala mensile e annuale e l'indice di umidità globale; ciò però comporta l'utilizzo di serie storiche prive di interruzioni e su un lungo periodo di tempo. Il *World Meteorological Organization* (WMO), per gli studi climatici, infatti, raccomanda l'uso di serie storiche continue su almeno 30 anni di funzionamento, molto difficili da reperire nella realtà. Ci si è dunque avvalsi del lavoro di Bono (2003) che ha ricostruito la serie storica delle precipitazioni in Sicilia, con dei metodi di interpolazione spaziale e si è portato avanti questo lavoro attraverso la ricostruzione delle serie storiche delle temperature, sempre utilizzando i metodi di interpolazione spaziale.

Nel 2011, il metodo MEDALUS è stato utilizzato per l'identificazione delle aree sensibili alla desertificazione nella redazione della **“Carta della sensibilità alla desertificazione in Sicilia”** approvata con decreto dell'Assessore Regionale del Territorio e dell'Ambiente n. 53/GAB del 11/04/2011.

Nei prossimi paragrafi, le due applicazioni saranno descritte nel dettaglio perché costituiscono la base informativa per la pianificazione e la valutazione delle misure di mitigazione del processo di desertificazione.

3.2 Progetto Pilota per la Lotta alla Desertificazione della Regione Siciliana

3.2.1 Studio dei trend temporali delle principali variabili climatiche

Il progetto pilota ha studiato la presenza di apprezzabili modifiche nei caratteri climatici nell'isola attraverso la ricerca di trend nelle serie temporali di variabili climatiche in quanto la loro presenza potrebbe rappresentare un segnale del cambiamento climatico in atto, anche perché la conoscenza dell'evoluzione di tali grandezze nel tempo, ed in particolare della precipitazione, può diventare uno strumento di supporto nella definizione di possibili scenari futuri nella pianificazione e nella gestione delle risorse idriche in un territorio.

Per quanto riguarda il territorio regionale una prima analisi è stata condotta considerando cinque stazioni siciliane per individuare trend pluviometrici nel periodo 1916-1999 (*Agnese et al.*, 2002). In questo caso, oltre al test di Mann-Kendall gli autori si sono serviti anche della media mobile, mediante la quale hanno potuto evidenziare un incremento dell'intervallo di tempo tra due eventi di pioggia successivi. La tendenza alla riduzione complessiva degli afflussi è stata quantificata valutando l'incremento di tempo necessario affinché si verifichi l'accumulo di una data quantità di pioggia.

Un'analisi delle serie storiche degli afflussi annui, mensili e stagionali per l'individuazione di trend pluviometrici nelle stazioni siciliane è stata condotta da *Cannarozzo* (1995). In questo studio sono stati considerati i dati di pioggia relativi al periodo 1921-1984 di 218 stazioni distribuite su tutto il territorio. La verifica della presenza di trend è stata eseguita applicando il test di t di Student, dopo aver valutato, per ciascuna serie di dati, l'autocorrelazione del primo ordine attorno alla media e successivamente attorno alla retta di regressione di ciascuna stazione. Inoltre su ogni serie idrologica si è condotta un'indagine volta a verificare l'esistenza o meno di un anno discriminante, dopo il quale l'andamento delle precipitazioni risulta distribuito attorno a rette caratterizzate da due differenti tendenze. Da questo studio è emerso che su 218 stazioni 188 mostrano un trend negativo, mentre solo in una è presente un trend positivo.

Per quanto riguarda gli afflussi mensili si è osservato un aumento delle precipitazioni nei mesi primaverili ed estivi. Nei mesi invernali invece si è rilevata una tendenza alla diminuzione. Le stagioni autunno e inverno forniscono un valore della t di Student quasi sempre negativo, in primavera questo comportamento si attenua, in quanto il mese di Aprile è caratterizzato da trend positivo.

Aronica et al. (2002) hanno effettuato un'indagine sui totali annui e sui massimi annui di durata da un'ora ad un giorno di otto stazioni pluviometriche situate nell'entroterra della provincia di Palermo, dalla quale è emersa una riduzione dell'intensità di pioggia.

Nel progetto pilota è stata condotta un'analisi per la verifica dell'esistenza di trend nelle serie storiche di precipitazione e di temperatura, e nelle serie di alcuni indici climatici calcolati a partire da queste ultime. Al fine di verificare l'esistenza di trend nelle serie di precipitazione e di temperatura si è fatto uso del test non-parametrico proposto da Mann (1945) e successivamente modificato da Kendall (1962). Il test è stato applicato alle serie di precipitazioni registrate nelle stazioni pluviometriche e alle serie di temperatura registrate nelle stazioni termometriche distribuite sul territorio siciliano, per livelli di confidenza del 90%, 95% e 99%. L'analisi è stata condotta sia a scala locale, ovvero con riguardo alla singola stazione, che alla scala regionale, ossia considerando tutte le stazioni sull'area oggetto di studio.

3.2.2 I dati utilizzati

La ricerca di trend nelle serie di variabili climatiche richiede l'utilizzo di dati che soddisfino determinate caratteristiche; in particolare nell'analisi dei dati storici è necessario osservare: la distribuzione spaziale delle stazioni sul territorio, la lunghezza e la completezza della serie temporale, la qualità e l'omogeneità dei dati. Nella scelta delle stazioni da inserire nello studio dei trend a scala regionale è necessario disporre di una rete di stazioni di misura che risulti il più possibile uniforme dal punto di vista spaziale. La lunghezza della serie deve essere adeguata agli scopi dell'analisi: il W.M.O. (*World Meteorological Organization*) a tal proposito, raccomanda l'uso di serie temporali di almeno 30 anni. Lo studio dei trend di grandezze climatiche e idrologiche richiede inoltre l'utilizzo di serie storiche complete. I dati storici presentano spesso delle discontinuità legate a numerosi fattori. In questi casi è possibile fare uso di opportune tecniche di interpolazione per ricostruire i dati mancanti.

Nel progetto si è fatto uso dei dati di precipitazione mensili relativi a 247 stazioni distribuite sull'intero territorio siciliano, forniti dall'Osservatorio delle Acque della Regione Siciliana. Il periodo analizzato comprende gli anni dal 1921 al 2000.

Per quanto riguarda l'analisi dei trend termometrici, si è fatto uso dei dati di temperatura media annua e mensile forniti dall'Osservatorio delle Acque (OA-ARRA) della Sicilia, relativi a più di 80 stazioni meteorologiche distribuite sull'intero territorio siciliano per il periodo che comprende gli anni dal 1924 al 2006.

La presenza di trend nelle serie storiche è stata verificata mediante l'applicazione del test statistico non parametrico di Mann-Kendall

3.2.3 Analisi dei trend delle serie di precipitazione (1921-2000)

Per ciascuna delle 247 stazioni pluviometriche considerate in questa analisi è stata verificata la presenza di un trend negli afflussi annui, mensili e stagionali. Gli afflussi mensili sono stati aggregati in afflussi stagionali secondo quanto segue:

- inverno: Dicembre, Gennaio, Febbraio;
- primavera: Marzo, Aprile, Maggio;
- estate: Giugno, Luglio, Agosto;
- autunno: Settembre, Ottobre, Novembre.

In Figura 3-1a è riportata la distribuzione spaziale delle 247 stazioni pluviometriche utilizzate nello studio; inoltre, attraverso una scala di colori è evidenziata la variabilità della precipitazione media annua nella regione. I valori più elevati si concentrano nella province di Messina e di Palermo e raggiungono il valore massimo di circa 1270 mm, mentre i più bassi sono localizzati lungo la costa meridionale e raggiungono il valore minimo di 400 mm.

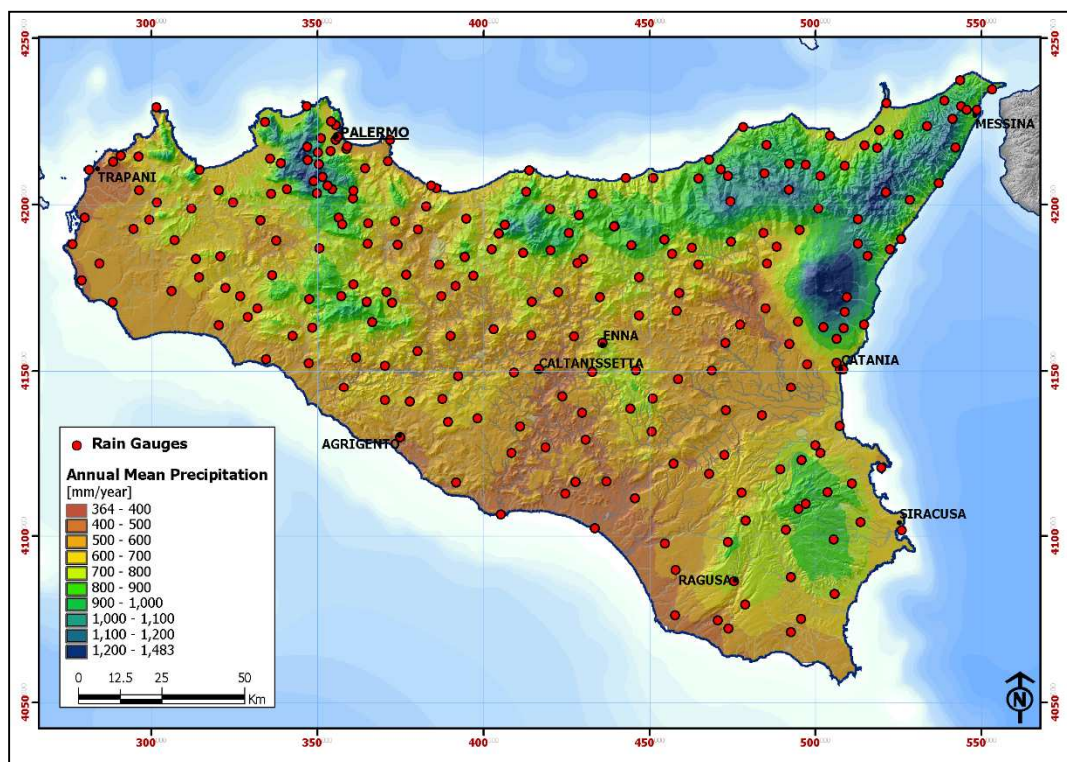


Figura 3-1a Media degli afflussi totali annui per il periodo 1921-2000

Nel caso delle stazioni messinesi nelle quali si riscontrano i valori medi di pioggia annua maggiori, si può osservare che esse, nella maggior parte dei casi, non presentano trend significativi per nessuno dei tre livelli di confidenza considerati. Le stazioni nella provincia di Palermo invece, mostrano valori di pioggia media annua più alti rispetto alle altre stazioni del territorio siciliano, ma sono anche caratterizzate da decrementi che risultano significativi fino al 99%.

L'analisi ha evidenziato che per la maggior parte delle stazioni la precipitazione annua presenta un trend negativo per tutti i livelli di confidenza considerati.

L'analisi dei trend è stata estesa anche agli afflussi stagionali. I risultati evidenziano che l'inverno è la stagione con il maggior numero di trend negativi e, di contro, l'estate è una stagione che non presenta quasi alcun trend.

In inverno circa il 60 % delle stazioni è interessata da trend negativo con un livello di confidenza del 95%. Questo risultato è praticamente coincidente con quello già visto nello studio a scala annua e ciò porta ad affermare che la riduzione osservata nelle precipitazioni annue è essenzialmente legata alla diminuzione delle piogge nel trimestre invernale. Questo comportamento è da ricondursi al clima tipicamente mediterraneo dell'isola, caratterizzato dal fatto che più del 40% delle precipitazioni è concentrata nei mesi di Dicembre, Gennaio e Febbraio.

Dopo aver determinato i trend per singola stazione, si è proceduto alla spazializzazione dei risultati sull'intero territorio siciliano. Attraverso il metodo IDW sono state create delle mappe, in ognuna delle quali è stata rappresentata la distribuzione spaziale di una determinata grandezza nell'area in esame. La rappresentazione spaziale dei risultati permette dunque una migliore comprensione della distribuzione dei trend e l'individuazione di zone nelle quali si verificano fenomeni simili.

L'analisi spaziale ha portato a che la Sicilia è caratterizzata da un trend regionale negativo con un livello di confidenza del 95%.

Va al riguardo evidenziato che risultati convergenti sono stati ottenuti in altri studi analizzando le serie delle precipitazioni mensili osservate in 162 stazioni della Sicilia nel periodo 1921-2003 (fig. 3.1b.)

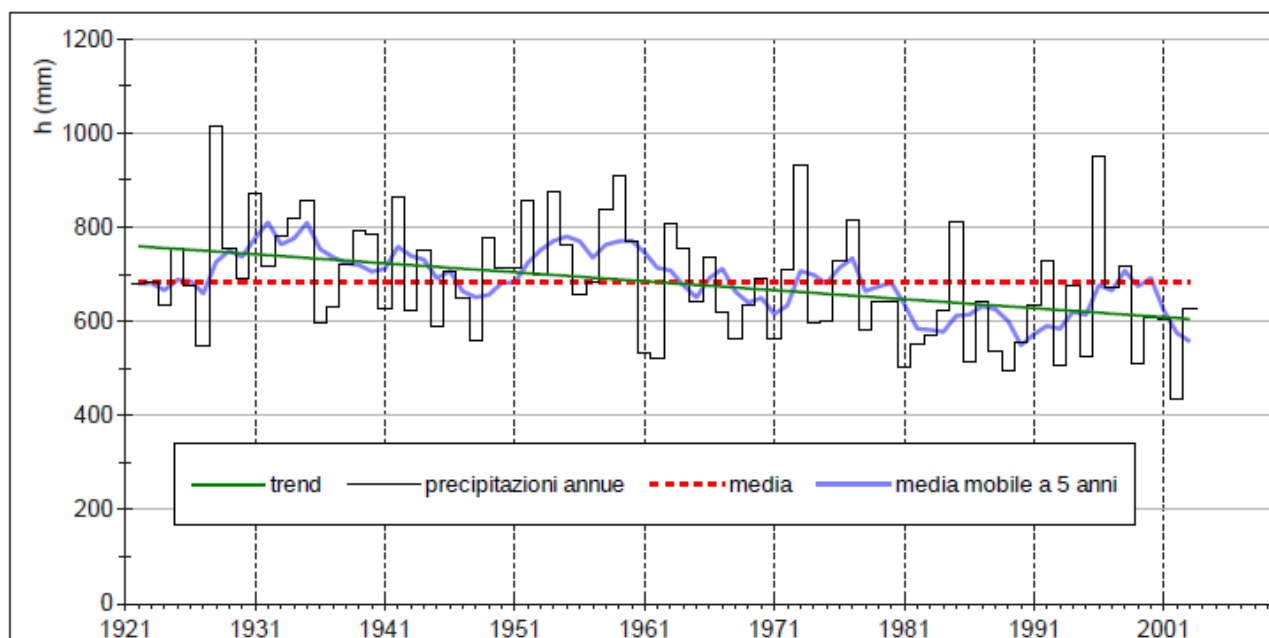


Fig. 3.1b. Linea del trend della serie della media pesata delle precipitazioni registrate in 162 stazioni pluviometriche nel periodo 1921-2003 (da Alecci e Rossi, 2007)

3.2.4 Analisi dei trend delle serie di temperatura (1924-2006)

L'analisi dei trend è stata condotta utilizzando dati medi annui, mensili e stagionali di 83 stazioni meteorologiche siciliane con riferimento al periodo 1924-2006. In Figura 3-2 rappresentata la distribuzione spaziale delle 83 stazioni termometriche utilizzate nello studio, e attraverso una scala di colori è evidenziata la variabilità della temperatura media annua nella regione.

I risultati ottenuti dall'analisi dei trend delle temperature medie annue mostrano che la maggior parte delle stazioni è interessata da trend positivi a tutti i livelli di confidenza. Delle 83 stazioni considerate, il 76% delle stazioni considerate mostra un trend crescente

con un livello di confidenza del 95%. Il 22% delle stazioni (18 su 83) non presenta trend con un livello di confidenza del 90%.

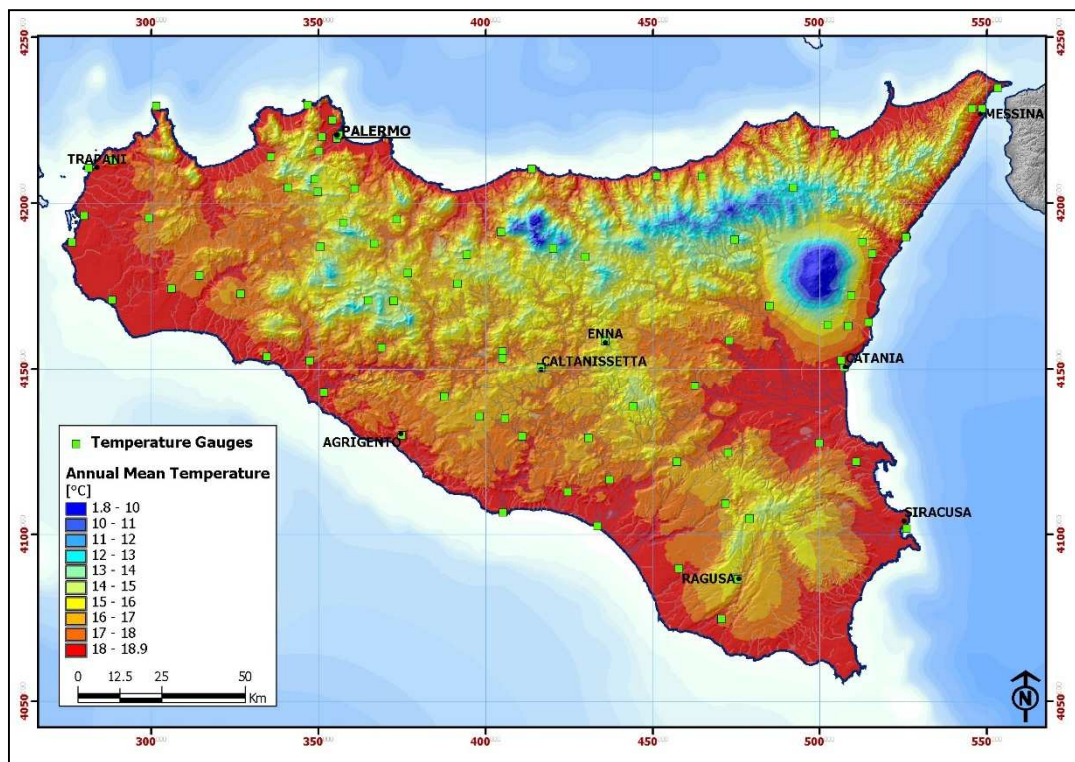


Figura 3-2 Temperature medie annue per il periodo 1924-2006

L'analisi dei trend è stata condotta anche utilizzando dati medi stagionali. I risultati ottenuti mostrano un incremento nelle temperature medie in tutte le stagioni, e in particolare in quelle invernali. Circa l'81% delle stazioni (67 su 83) presenta un trend invernale positivo con livello di confidenza del 95%, e tale percentuale coincide all'incirca con quella che mostra un trend positivo allo stesso livello di confidenza ma alla scala annua.

L'analisi a scala mensile ha consentito di individuare la presenza di trend crescenti nei mesi invernali, ossia Dicembre, Gennaio e Febbraio, nei mesi estivi, da Giugno ad Agosto, e infine nei mesi di Maggio e Ottobre (Figura 3-15).

L'analisi spaziale ha evidenziato la presenza di un trend regionale nel caso delle temperature medie annue e invernali.

Anche le analisi delle anomalie dalle temperature medie sul periodo 1961-1990 evidenzia la presenza di una tendenza generalizzata all'aumento

3.2.5 Analisi dei trend degli indici climatici (1924-2000)

L'applicazione del test di Mann-Kendall mostra l'esistenza di una riduzione generale delle precipitazioni, in particolare negli afflussi annui e quelli dei mesi invernali. A queste scale le temperature e le precipitazioni mostrano tendenze opposte e pertanto è possibile immaginare in futuro uno scenario caratterizzato da temperature più alte e da una ridotta piovosità, fenomeni il cui effetto combinato potrebbe condurre ad un aumento dell'aridità nella regione. Al fine di verificare la presenza di una relazione tra il cambiamento climatico riscontrato e l'aridità in Sicilia sono stati calcolati gli indici climatici precedentemente descritti, utilizzando precipitazioni e temperature da 73 stazioni, per le quali si dispone contemporaneamente di dati per il periodo 1924-2000. Il test di Mann-Kendall è stato applicato a ciascuno di questi indici alla scala locale e regionale.

Il valore medio degli indici nel periodo 1924-2000 è stato interpolato spazialmente al fine di visualizzare su mappe la distribuzione spaziale degli indici calcolati. Il risultato ottenuto, riportato in Figure 3-3, 3-4, 3-5 e 3-6, mostra che la maggior parte della regione è caratterizzata da bassi valori dell'indice di Lang o Pluviofattore, e in particolare la zona a sud e quella ad est; gli indici di Martonne e l'indice UNEP concordemente, attribuiscono alla maggior parte dell'isola un clima umido o sub-umido, e un clima semiarido solo lungo la costa meridionale. Infine, la mappa dell'Indice Globale di Umidità mostra risultati abbastanza simili a quelli del Pluviofattore.

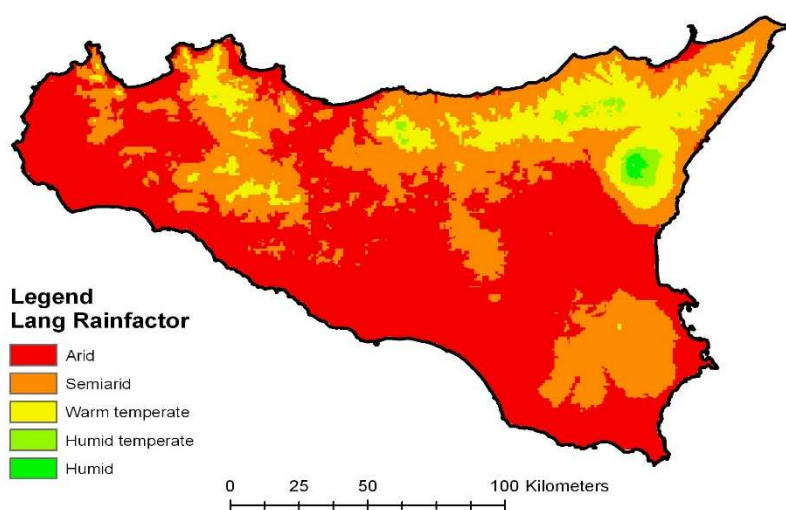


Figura 3-3 Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di Lang o Pluviofattore

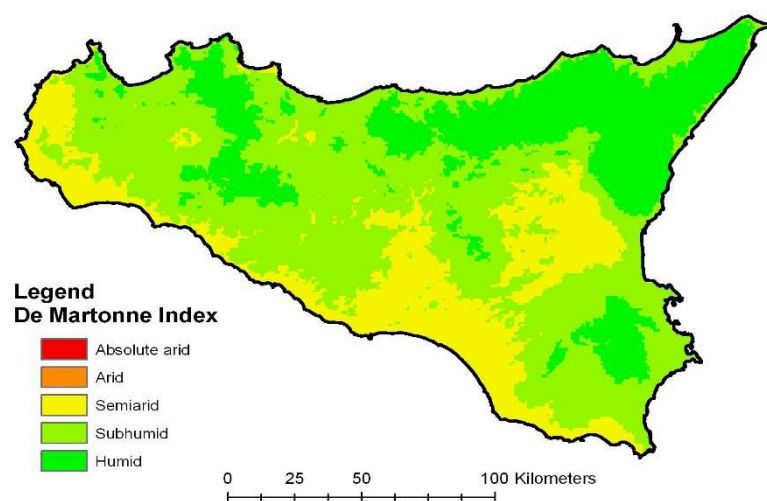


Figura 3-4 Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di De Martonne

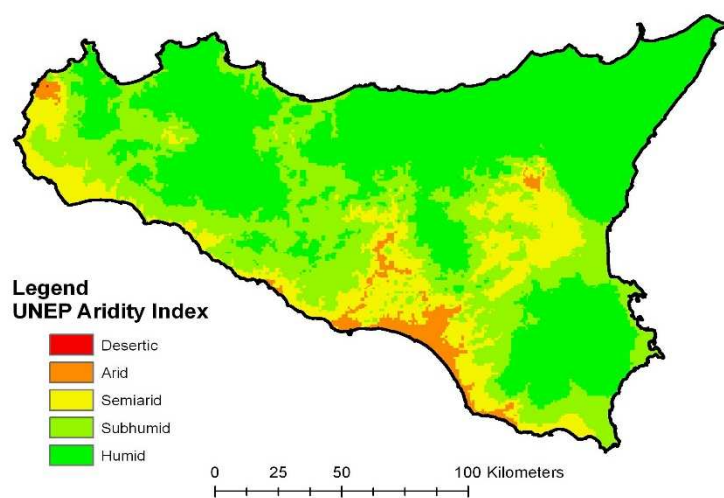


Figura 3-5 Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di aridità UNEP

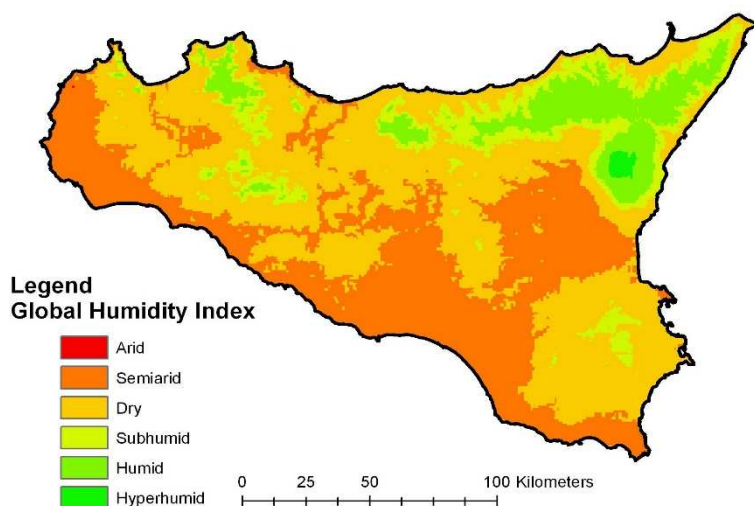


Figura 3-6 Distribuzione spaziale sul territorio siciliano del valore medio dell'indice di Umidità Globale

L'applicazione del test di Mann-Kendall a ciascuno di questi indici a scala locale ha individuato trend che indicano la presenza di una tendenza negativa generalizzata causata dai trend opposti di precipitazione e temperatura. Per ciascun livello di confidenza questo test individua all'incirca lo stesso numero di stazioni con trend negativo per tutti gli indici esaminati

L'indice di Martonne è stato calcolato anche a scala mensile; in questo caso il numero maggiore di trend è stato riscontrato per in mesi invernali, mentre gli altri mesi sono interessati da un numero limitato di trend. L'indice di aridità dell'UNEP invece è stato calcolato anche utilizzando temperature e precipitazioni aggregate alla scala stagionale. Il test in questo caso ha individuato una diminuzione dell'indice durante la stagione invernale e assenza di trend durante l'estate e l'autunno.

I risultati dell'analisi dei trend *at-site* sono stati spazialmente interpolati al fine di identificare l'esistenza di aree a rischio di aridità, ossia di aree in cui è possibile prevedere l'esasperazione della situazione climatica. Le mappe nelle Figure 3-7, 3-8, 3-9 e 3-10 mostrano che la regione è caratterizzata dalla presenza di un'ampia zona con trend negativi ad alto livello di confidenza, localizzata nella parte centrale dell'isola.

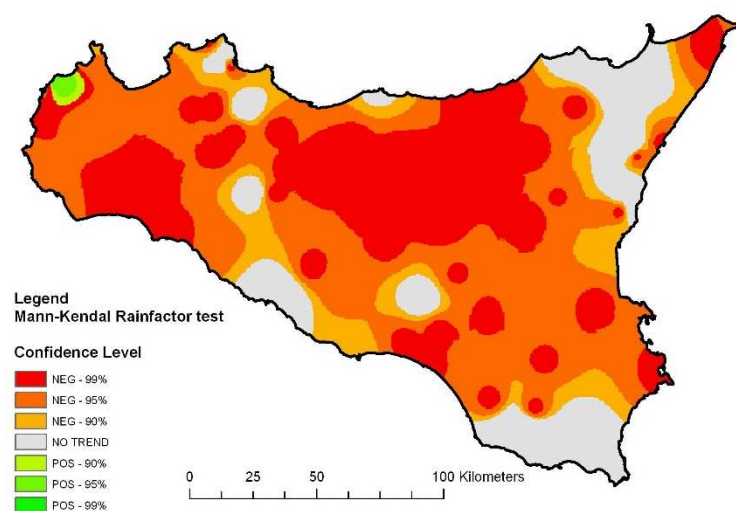


Figura 3-7 Trend rilevati con il test di Mann-Kendall nel Pluviofattore

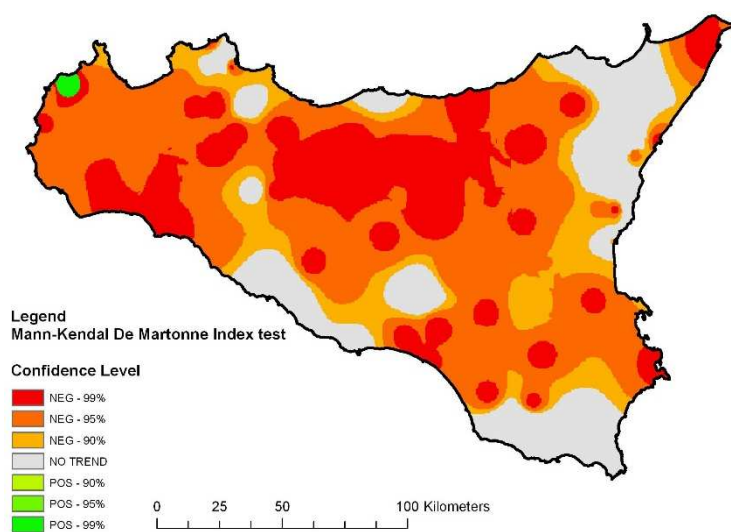


Figura 3-8 Trend rilevati con il test di Mann-Kendall nell'indice di De Martonne

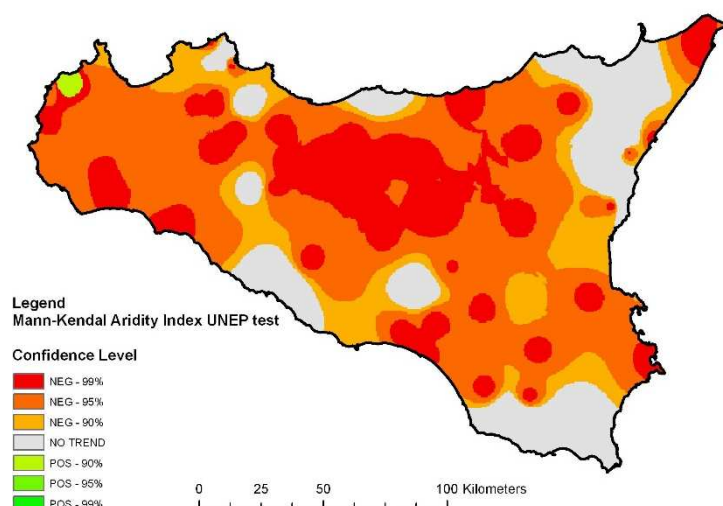


Figura 3-9 Trend rilevati con il test di Mann-Kendall nell'indice di De Martonne

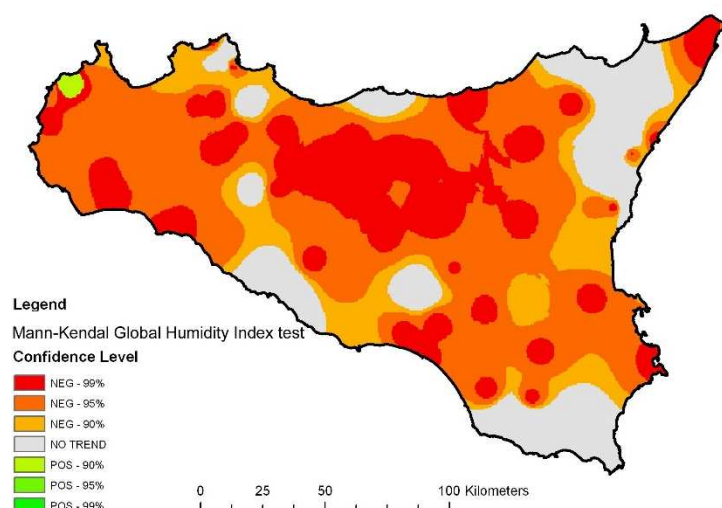


Figura 3-10 Trend rilevati con il test di Mann-Kendall nell'Indice di Umidità Globale

Le distribuzioni spaziali dei trend del Pluviofattore, dell'indice di Martonne, dell'indice di aridità UNEP e dell'Indice Globale di Umidità, sono state combinate in un'unica mappa che rappresenta quanti tra gli indici considerati presentano un trend in ciascun punto della regione. In questa mappa di sovrapposizione (Figura 3-11) si evidenzia l'esistenza di una macro-zona interessata da trend per ciascuno degli indici calcolati. Tale zona è chiaramente interessata da un aumento dell'aridità. Il confronto la mappa del trend delle temperature fa risaltare il ruolo sicuramente dominante della riduzione della piovosità sull'aumento delle temperature. Infatti, laddove non è stato riscontrato un trend significativo delle temperature, ossia in tutta la zona centrale dell'isola, è comunque

presente un trend significativo di tutti gli indici di aridità, riconducibile alla riduzione della piovosità in quella stessa zona.

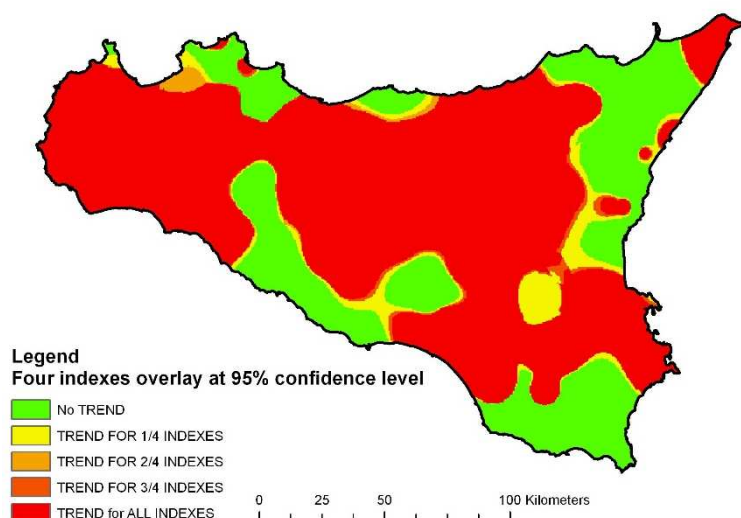


Figura 3-11 Mappa del numero di indici climatici che presentano trend con livello di confidenza del 95%.

Dalle analisi effettuate si evince l'esistenza di un trend a scala areale per tutti gli indici calcolati a partire da temperature e precipitazioni annue.

3.2.6 Considerazioni emerse dall'analisi dei risultati

La conoscenza dei processi alla base dei cambiamenti climatici e la costruzione di modelli a scala regionale e locale per le variabili meteo-climatiche sono obiettivi fondamentali da perseguire, affinché sia possibile una proiezione veritiera degli eventi futuri e degli interventi necessari a contrastare gli effetti di questi mutamenti. In questo contesto lo studio dei trend pluviometrici diventa un importante strumento per una conoscenza più approfondita dell'evoluzione dei regimi idrologici e quindi un miglioramento della qualità dei modelli previsionali.

L'analisi condotta ha evidenziato un cambiamento del clima siciliano, caratterizzato da una riduzione generale della piovosità e da un aumento delle temperature medie annue.

Per quanto riguarda le precipitazioni, i risultati ottenuti mostrano che i trend positivi sono poco frequenti e sono stati riscontrati solo per un limitato numero di stazioni nei mesi estivi, mentre trend negativi significativi sono molto comuni nelle precipitazioni annue e invernali. Numerose stazioni con trend significativi decrescenti sono localizzate nelle zone Ovest e Sud-Ovest dell'isola. L'assenza di trend è comunque un caso abbastanza frequente

a tutte le scale temporali considerate.

L'analisi delle temperature mostra che trend positivi significativi sono molto più frequenti nei dati medi annui, invernali ed estivi. La zona maggiormente interessata da trend con livello di confidenza del 99% è situata nella parte orientale dell'isola. Al fine di indagare quale possa essere l'effetto combinato di tali trend di temperatura e precipitazione sul clima siciliano, sono stati calcolati alcuni indici climatici e successivamente è stato applicato il test di Mann-Kendall anche a queste variabili, alla scala locale e regionale. Dai risultati è emersa l'esistenza di una tendenza alla diminuzione degli indici climatici che rappresentano la tendenza futura ad un aumento dell'aridità in Sicilia, in particolare nella zona centrale e occidentale dell'isola.

Come più volte specificato, l'aridità climatica è uno dei fattori predisponenti (probabilmente il più variabile e significativo) alla desertificazione.

Nelle aree dove i fattori climatici mostrano tendenza al peggioramento e gli altri fattori (antropici, culturali e pedologici) non vengono modificati attraverso misure di mitigazione, il processo di desertificazione si amplia portando alla progressiva perdita di biodiversità.

3.3 La carta della sensitività alla desertificazione in Sicilia

3.3.1 Premessa

Come evidenziato nei precedenti paragrafi, nel seguito si riporta la sintesi delle analisi sviluppate dalla Regione Siciliana nel 2011 per la redazione della **Carta della sensitività alla desertificazione**. In maniera complementare all'analisi della tendenza statistica di cui si è discusso nel precedente paragrafo, l'analisi empirica che conduce alla valutazione della sensitività alla desertificazione fotografa lo stato attuale del territorio ma consente di valutare il peso di tutti i fattori predisponenti al fenomeno e, di conseguenza, costituisce uno strumento utile all'individuazione di misure di mitigazione.

Come accennato il fenomeno della desertificazione in ambiente mediterraneo, come evidenziato dalla letteratura scientifica e come discusso nei precedenti paragrafi, è un processo complesso determinato dalla concomitanza di fattori climatici, litologici, vegetazionali e di gestione del territorio. Per tale ragione la valutazione nel tempo dei fenomeni di desertificazione di un territorio può svolgersi solo attraverso lo studio dei molteplici fattori che lo determinano e quindi attraverso un monitoraggio integrato delle diverse matrici ambientali coinvolte nel processo grazie a strumenti metodologici capaci di trasformare i dati raccolti in informazioni sul grado di vulnerabilità alla desertificazione del territorio e quindi in strumenti di supporto alle decisioni.

I processi degenerativi si verificano in modo particolare laddove sussistono fattori predisponenti legati a tipologie territoriali e caratteristiche ambientali, quali:

- ECOSISTEMI FRAGILI (tutte quelle aree caratterizzate da delicati equilibri bio-fisici, quali ambienti di transizione, lagune e stagni costieri, aree dunari e retrodunari, aree calanchive etc.)
- LITOLOGIA (formazioni sedimentarie argilloso - sabbiose, formazioni gessoso - solfifere etc.)
- IDROLOGIA (aree di ricarica degli acquiferi, falde superficiali, aree costiere, etc.)
- PEDOLOGIA (scarsa profondità radicabile del suolo, struttura assente o debolmente sviluppata, scarsa dotazione in sostanza organica, bassa permeabilità, etc.)
- MORFOLOGIA (forte acclività, esposizione dei versanti agli agenti atmosferici, etc.)
- VEGETAZIONE (terreni privi o con scarsa copertura vegetale, etc.)
- AREE GIA' COMPROMESSE (aree disboscate, aree già sottoposte ad attività estrattive, discariche, siti contaminati, etc.).

Per quanto concerne l'aspetto relativo alle attività umane, le principali pressioni antropiche che possono incidere sulla desertificazione sono legate alle attività produttive e ai loro impatti: agricoltura, zootecnica, gestione delle risorse forestali, incendi boschivi, industria, urbanizzazione, turismo ed altre.

3.3.2 Iter storico degli studi volti all'individuazione della sensibilità alla desertificazione

Diversi studi sono stati svolti per la valutazione della vulnerabilità e sensibilità alla desertificazione del territorio Regionale pervenendo alla elaborazione di carte tematiche regionali. Gli studi sebbene basati su metodologie diverse concordano tutti nel valutare l'importanza e l'estensione del fenomeno.

Un primo studio è stato prodotto dalla Regione Siciliana nell'ambito del progetto Inettereg IIC nel 2001. Lo studio "METODOLOGIA PER LA REDAZIONE DI UNA CARTA IN SCALA 1:250000 SULLE AREE VULNERABILI AL RISCHIO DI DESERTIFICAZIONE IN SICILIA" ha preso spunto dalla metodologia redatta dal SAR – Servizio Agrometeorologico Regionale per la Sardegna (Bandinelli G. et al., 2000) e da una proposta di indici per l'identificazione di aree vulnerabili alla desertificazione, elaborata da un gruppo di lavoro

interdisciplinare portoghese (Pimenta M.T. et al., 1999), nell'ambito della Convenzione Internazionale per la lotta alla desertificazione (CCD - Convention to Combat Desertification). La metodologia utilizzata ha permesso di giungere ad una rappresentazione in scala 1:250000 della vulnerabilità alla desertificazione del territorio regionale che, alla suddetta scala, restituisce una informazione attendibile, in quanto compatibile e coerente con i dati territoriali utilizzati.

La proposta metodologica è basata sulla combinazione di tre differenti indici, ciascuno dei quali riflette specifici aspetti legati al fenomeno della desertificazione:

- le condizioni di aridità;
- le condizioni di siccità;
- la perdita di suolo, in relazione alle sue caratteristiche, al suo uso e all'erosività delle piogge.

I risultati ottenuti, espressi in termini di classi di rischio e percentuali di territorio rivelano che il 7,5% dei territori siciliani è affetto da rischio elevato, il 48,4% da rischio medio-alto, il 38,1% da rischio medio-basso e il restante 6% da rischio basso.

Un successivo studio è stato condotto ricercatori dell'ENEA (Giordano L., Giordano F., Grauso S., Iannetta M., Rossi L., Sciortino M., Bonati G. 2001) Utilizzando la metodologia MEDALUS. La cartografia prodotta evidenzia che le aree a elevata sensibilità sono ubicate nelle province di Caltanissetta, Enna e Catania.

Successivamente nel 2008 la Regione ha promosso un ulteriore studio per la realizzazione della carta della desertificazione in Sicilia utilizzando una metodologia di land evaluation. Secondo tale metodologia i territori maggiormente vulnerabili al processo di desertificazione risultano essere quelli dell'estremità occidentale dell'Isola, della fascia costiera meridionale, della porzione centrale, centro-meridionale e centro-orientale dell'Isola.

Sempre a livello nazionale si segnala l'Atlante Nazionale delle Aree a Rischio Desertificazione prodotto dal Consiglio Per La Ricerca E La Sperimentazione In Agricoltura, dall' Istituto Sperimentale Per Lo Studio E La Difesa Del Suolo, Centro Nazionale Di Cartografia Pedologica e Dall'Istituto Nazionale Di Economia Agraria.

Nell'Atlante viene illustrato il fenomeno della desertificazione in Italia facendo riferimento alle aree che risultano funzionalmente sterili, vulnerabili o sensibili.

La metodologia adottata per l'Atlante utilizza come criterio guida la ricerca delle evidenze della realtà fattuale che testimonino dell'avvenuta sterilità funzionale o dei

processi che possono portare ad una più o meno imminente degradazione irreversibile. La metodologia scelta nella realizzazione del presente Atlante si basa sulla struttura d'analisi dei processi denominata DPSIR (Determinanti, Pressioni, Stato, Impatto, Risposta) largamente utilizzata in campo ambientale a livello europeo e nazionale.

Secondo l'atlante il 14,3% del territorio regionale è caratterizzato da sterilità funzionale, il 10% è classificato come sensibile e il 50% come vulnerabile per cui il 74,5% del territorio regionale è a rischio.

Nel 2009 si segnala nuovo studio regionale condotto da Piccione V., Veneziano V., Malacrinò V., Campisi S. adottando rigorosamente il protocollo MEDALUS ai fini della confrontabilità con altre regioni affette dal problema desertificazione. Rispetto agli altri introducono la novità del confronto bi-temporale (prima e seconda metà del XX Secolo) dell'andamento del fenomeno desertificazione e un dettaglio informativo maggiore. I territori ad elevata sensibilità si concentrano nelle zone interne della provincia di Caltanissetta, Enna e Catania e lungo la fascia costiera nella provincia di Agrigento.

Da ultimo nel 2011 la Regione redige a carta delle sensibilità alla desertificazione in Sicilia utilizzando la metodologia MEDALUS. La carta è stata approvata con decreto dell'Assessore Regionale del Territorio e dell'Ambiente n. 53/GAB del 11/04/2011. Nel seguito si riporta con maggior dettaglio la metodologia e i risultati ottenuti.

3.3.3 Il modello MEDALUS applicato alla Regione Sicilia

Il metodo utilizzato, sviluppato all'interno del progetto dell'Unione Europea MEDALUS (Mediterranean Desertification And Land Use), è stato elaborato da Kosmas et al.¹ (1999) per lo studio delle aree vulnerabili alla desertificazione in un'isola greca e ha trovato applicazione in tre aree test di altrettanti paesi del Mediterraneo (Italia, Portogallo e Spagna).

La metodologia ha lo scopo di individuare le aree sensibili alla desertificazione o ESA (Environmentally Sensitive Areas), attraverso l'applicazione di indicatori sia biofisici che socio-economici che consentono di classificare le aree in critiche, fragili e potenziali. Essa consiste in una valutazione multifattoriale dei processi ambientali in atto, sia sulla conoscenza globale che su quella locale.

¹ Kosmas C., Ferrara A., Briasoulis H., Imeson A., (1999). "Methodology for mapping Environmentally Sensitive Areas (ESAs) to Desertification". In 'The MEDALUS project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification'. Edited by: C. Kosmas, M.Kirkby, N.Geeson. European Union 18882. pp: 31-47 ISBN 92-828-6349-2

La metodologia prevede l'elaborazione di 4 Indici di Qualità a partire dalle variabili alle quali è attribuito un valore numerico sulla base della maggiore o minore influenza sul processo della desertificazione, afferenti alle seguenti categorie:

Suolo (6 indicatori): **Indice SQI**

Clima (3 indicatori): **Indice CQI**

Vegetazione (4 indicatori): **Indice VQI**

Gestione del territorio (3 indicatori): **Indice MQI**

Attraverso i primi tre indici (Suolo, Clima, Vegetazione) si ottiene un quadro dello stato delle condizioni ambientali, mentre l'ultimo indice esprime una valutazione della pressione esercitata dalle attività antropiche. L'applicazione del modello MEDALUS a scala regionale, per l'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione, ha reso necessaria una serie di lievi modifiche, rispetto a quanto proposto da Kosmas et al. (1999), per identificare i corretti indicatori da utilizzare in base alla natura e disponibilità delle banche dati esistenti. Le caratteristiche pedologiche, climatiche, di uso del suolo, nonché la disponibilità di dati, hanno imposto, in alcuni casi, delle scelte metodologiche differenti rispetto al modello originale, che sono motivate nei paragrafi descrittivi dei singoli indicatori.

LAYER	INDICATORI	CARTA
<i>Suolo</i>	<ul style="list-style-type: none">• Litologia• Pietrosità• Profondità del suolo• Pendenza• Drenaggio• Tessitura del suolo	Carta dell'Indice di Qualità del Suolo SQI
<i>Clima</i>	<ul style="list-style-type: none">• Esposizione dei versanti• Erosività delle precipitazioni• Indice di aridità• Stagionalità delle precipitazioni	Carta dell'Indice di Qualità del Clima CQI
<i>Vegetazione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Rischio d'incendio• Protezione dall'erosione• Resistenza alla siccità• Grado di copertura vegetale	Carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione VQI
<i>Gestione</i>	<ul style="list-style-type: none">• Politiche di protezione• Intensità dell'uso del suolo• Indice di Pressione antropica	Carta dell'Indice di Qualità della Gestione MQI

Tabella 3-1 Indicatori utilizzati per la determinazione degli Indici di Qualità tematici.

In particolare, il set di indicatori utilizzati raccogliendo il contributo delle banche dati degli Enti regionali di diversi settori, è il seguente.

Ciascun indice di qualità è ottenuto come media geometrica degli indicatori ambientali ed antropogenici disponibili. Tali indicatori vengono quantificati assegnando ad ognuno di essi un punteggio (peso) in relazione alla sua influenza sui processi di desertificazione.

Per poter calcolare ed elaborare i vari indicatori allo scopo di ottenere la carta delle Aree Sensibili alla Desertificazione, è stato necessario ricorrere strumenti di analisi spaziale in ambiente GIS. I singoli indicatori, in formato vettoriale, sono stati riproiettati nel sistema di coordinate UTM-WGS84 (fuso 33 N) e, per ognuno di essi, è stato creato un attributo che contiene un valore calcolato secondo la metodologia di Kosmas et al..

Le carte tematiche ottenute (shapefile) sono state infine trasformate in formato Raster Grid, con una maglia di campionamento di 100 x 100 metri, allineate al grid DEM100 (ricampionamento del DEM 40x40 metri derivato dai file Ascii delle ortofoto IT2000).

Si è proceduto quindi a calcolare la media geometrica tra i diversi punteggi degli indicatori per cui:

$$\text{Indice Qualità } X = (\text{Indicatore } 1 \times \text{Indicatore } 2 \times \dots \times \text{Indicatore } n)^{1/n}$$

ottenendo le quattro carte relative agli indici di qualità (SQI, VQI, CQI, MQI).

Infine, dalla combinazione tramite nuova media geometrica dei quattro Indici di Qualità, eseguita mediante operazioni di map algebra in ambiente GIS, è stato determinato l'indice di sensibilità ambientale (ESAI) secondo la seguente formula:

$$\text{ESAI} = (\text{SQI} * \text{CQI} * \text{VQI} * \text{MQI})^{1/4}$$

3.3.4 Carta dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI)

Il suolo riveste un ruolo fondamentale nei processi di desertificazione degli ecosistemi delle aree semi-aride e sub-umide, soprattutto nei casi in cui la profondità del suolo, necessaria per il minimo sostentamento fisico degli apparati radicali delle piante e per il contenimento dell'acqua e degli elementi nutritivi, è troppo ridotta. Ai fini della desertificazione, la qualità del suolo si esprime in considerazione della disponibilità idrica e della resistenza al fenomeno erosivo.

I dati sui suoli regionali (roccia madre, pietrosità, ecc.) sono stati ricavati dalla banca dati dei suoli regionali dell'Assessorato regionale delle Risorse Agricole e Alimentari – Dipartimento Interventi Infrastrutturali per l'Agricoltura, che è stata creata e implementata

con il contributo e la collaborazione del Consiglio per la Ricerca e la Sperimentazione in Agricoltura - Centro di ricerca per l'Agrobiologia e la Pedologia di Firenze (CRA-ABP). Nella banca dati sono raccolte e armonizzate tutte le informazioni puntuali e geografiche sui suoli regionali prodotte nel tempo dalle istituzioni di ricerca e dalla pubblica amministrazione.

In pedologia il suolo viene inteso come un sistema complesso parte di un altro sistema complesso, l'ambiente; l'origine, le caratteristiche e le qualità di un suolo sono correlate all'azione di alcuni fattori, i cosiddetti "fattori della pedogenesi", che agiscono congiuntamente sulla genesi e sull'evoluzione di un suolo e che, trattandosi di componenti dell'ambiente naturale (fattori di stato ambientali), possono essere riferiti a delle definite superfici territoriali omogenee, i cosiddetti pedopaesaggi.²

Le caratteristiche pedologiche (indicatori chiave) prese in considerazione per valutare l'indice di qualità del suolo e stimare ed individuare la sensibilità ambientale alla desertificazione del territorio regionale sono: la litologia, la pietrosità superficiale, la pendenza, la profondità radicabile, la tessitura dello strato superficiale e il drenaggio interno.

Le proprietà del suolo selezionate sono state tratte dalle osservazioni pedologiche puntuali contenute nel data base e organizzate in unità e sottounità tipologiche di suolo; le osservazioni puntuali (profili, pozzetti, trivellate) contengono informazioni sul paesaggio e sulle caratteristiche chimiche e fisiche del suolo riferite a quel determinato punto dove i dati sono stati raccolti. Per ogni dato puntuale sono definiti i fattori ambientali della pedogenesi (morfologia, litologia, uso del suolo), le regioni pedologiche, i sistemi di terre e i sottosistemi di terre d'appartenenza semantica.

Questi dati determinano la componente territoriale di cui il suolo è espressione. Lo strato geografico utilizzato nel presente lavoro per spazializzare i dati pedologici regionali è rappresentato dai "sottosistemi di terre"³. La banca dati dei suoli regionali comprende 9861 osservazioni puntuali ed è aggiornata all'anno 2010, mentre la banca dati dei sottosistemi si compone di 5010 poligoni. Dal punto di vista operativo sono state selezionate le specifiche proprietà del suolo individuate quali indicatori chiave per la stima della sensibilità ambientale alla desertificazione e gli sono stati assegnati dei valori, in

² Il "pedopaesaggio" è un tratto di superficie terrestre che ha un certo significato pedologico: raccoglie suoli che hanno in comune una o più caratteristiche, proprietà o processi, ed è individuabile da un insieme di condizioni climatiche, litologiche, morfologiche, pedologiche, di uso del suolo e di vegetazione" (Costantini et al. 2007)

³ Si definisce "sottosistema di terre" un'unità cartografica, cioè l'insieme di poligoni (la scala di riferimento è 1:250.000) caratterizzati da attributi geografici simili (litologia, morfologia, uso del suolo), con legende appropriate per questo livello di dettaglio, cioè che esprimono la percezione e l'influenza dei fattori della pedogenesi a questa scala.

seguito il processo di attribuzione di un valore ad ogni punto dello spazio è stato ottenuto stabilendo il legame fra poligoni e profili ed è stato generato automaticamente dal software della banca dati tramite una serie di funzioni originali.

Nello studio sono state prese in considerazione le seguenti caratteristiche e qualità del suolo:

Roccia madre

Pietrosità

Profondità

Pendenza

Drenaggio

Tessitura

3.3.4.1 Roccia madre

La roccia madre rappresenta il materiale da cui prende origine il suolo. Essa è molto importante poiché molti dei caratteri acquisiti dal suolo dipendono dalle caratteristiche chimiche e fisiche del materiale di partenza. Suoli originatisi su differenti substrati reagiscono in maniera differente all'erosione e possono portare a gradi differenti di desertificazione. Ad esempio, i suoli derivati da rocce metamorfiche sono generalmente poco profondi, facilmente erodibili e non consentono un rapido ripristino della vegetazione. Caratteristiche simili presentano i suoli formati su rocce piroclastiche, come ad esempio gli affioramenti plio-quaternari della porzione settentrionale degli Iblei; le rocce piroclastiche presentano uno spessore molto ridotto, elevata erodibilità e conseguente elevato rischio di desertificazione. Al contrario, i suoli formati sui conglomerati e le rocce effusive basiche, possono mantenere un buono stato idrico anche durante gli anni siccitosi e conseguentemente una buona copertura vegetale del terreno e un'elevata produzione di biomassa.

Queste considerazioni di carattere generale devono essere valutate all'interno della variabilità litologica regionale che è caratterizzata soprattutto da rocce sedimentarie clastiche e carbonatiche, che presentano una forte alterazione dell'integrità litologica per effetto della tettonica.

La base informatica utilizzata è costituita dalla carta geologica regionale a scala 1:100.000 derivata, con nuovi accorpamenti in base alle formazioni geologiche principali, dalla Carta Litologica annessa al Piano Regionale dei Materiali Lapidei e dei materiali di

pregio edizione 2002. La metodologia applicata, nel suo schema classico identificato da Kosmas, determina un'attribuzione qualitativa del valore da attribuire ai singoli tipi geologici basata su tre valori indice, rispettivamente 1,0 – 1,7 e 2, rispetto ad una valutazione della sensibilità ai processi erosivi bassa, media ed alta. Nel caso della Sicilia si è preferito inserire una quarta categoria intermedia tra i valori di qualità buona e moderata, a cui si è attribuito il valore di 1,4. Questo soprattutto per la presenza di numerosi tipi litologici a cui corrispondono suoli autoctoni con un comportamento di media qualità ma non eccessivamente basso, considerando quindi troppo eccessiva la differenza tra il valore 1,0 ed il valore 1,7 della suddivisione teorica proposta dalla metodologia originaria. Ciò è particolarmente valido per rocce clastiche di sequenze fliscioidi, cioè a rapida sedimentazione; queste hanno una prevalenza di depositi pelitici ed argillosi che determinano suoli profondi nell'orizzonte C, con orizzonti A e B piuttosto ridotti. La pietrosità derivante è ridotta o localizzata alla base degli affioramenti di intercalazioni maggiormente litoidi tipo arenarie o calcari.

Le sequenze fliscioidi a maggiore presenza di arenarie e sabbie sono state inserite nella classe inferiore con valore pari a 1,7. Nella Tabella 3.5 sono riportati i diversi tipi di roccia madre e gli indici di sensibilità alla desertificazione corrispondenti. La cartografia relativa è riportata in Figura 3.12.

Classe	Legenda	Roccia Madre	Indice
1	Predisposizione all'erosione bassa	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Detrito, Alluvioni, sabbie - Recente ed Attuale ▪ Formazione Terravecchia - Tortoniano 	1
2	Predisposizione all'erosione media	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argille brecciate - Miocene e Pliocene ▪ Argille Varicolori - Cretaceo - Miocene ▪ Calcareniti organogene quaternarie ▪ Formazioni carbonatiche Meso - Cenozoiche ▪ Arginiti, marne, calcari e siltiti - Flysch Carni ▪ Flysch Monte Soro - Cretaceo - Miocene ▪ Flysch Numidico - Oligocene Miocene ▪ Flysch Troina - Arenarie, marne e siltiti - Cretaceo Oligocene ▪ Calcari e Calcareniti degli Iblei - Cenozoico ▪ Formazioni carbonatiche Meso - Cenozoiche ▪ Complesso metamorfico di basso grado - Paleozoico 	1.4

Classe	Legenda	Roccia Madre	Indice
		<ul style="list-style-type: none"> ▪ Unità Longi-Taormina - Basamento epimetamorfico - Paleozoico ▪ Unità Longi-Taormina - Sequenze carbonatiche - Meso Cenozoiche ▪ Unità Stilo-Capo d'Orlando- Oligo miocene ▪ Vulcaniti Plio - quaternarie 	
3	Predisposizione all'erosione alta	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Argille sabbiose del Pliocene medio - sup. ▪ Detrito ed argille (Paleofrane) - Recente ▪ Flysch Reitano - Miocene sup ▪ Formazione gessoso-solfifera - Messiniano ▪ Formazione Polizzi - Tufiti di Tusa - Eocene ▪ Calcareni e marne - Cenozoico ▪ Formazioni silico - marnose Meso - Cenozoiche ▪ Complesso metamorfico di alto grado - Paleozoico ▪ Marne e Calcareni - Oligocene Miocene ▪ Unità Floresta, Calcareni e Arenarie – Miocene 	1.7
4	Predisposizione all'erosione elevata	<ul style="list-style-type: none"> ▪ Marne calcaree - Trubi - Pliocene ini ▪ Sabbie e arenarie del messiniano ▪ Piroclastiti Plio - quaternarie 	2

Tabella 3-2 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per tipo di Roccia Madre.

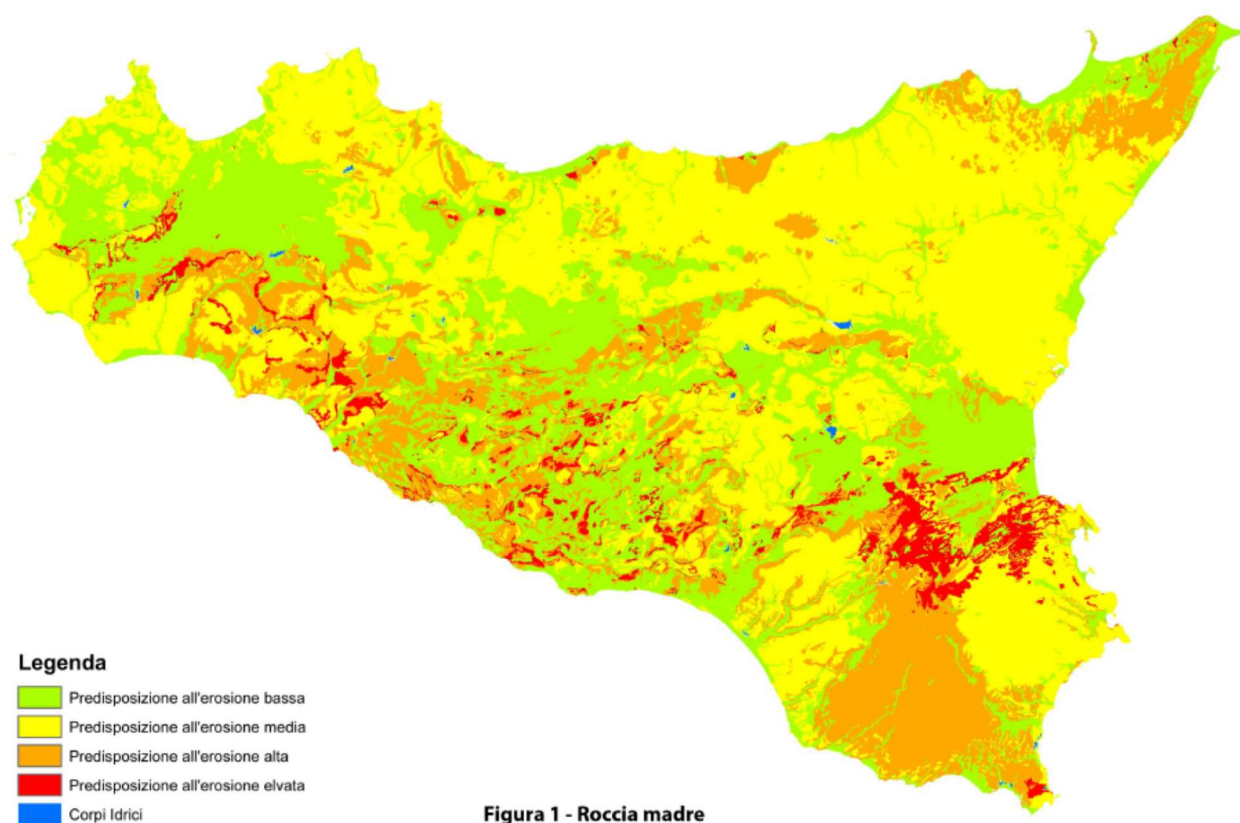


Figura 3-12 Indice di sensibilità alla desertificazione per Roccia Madre.

3.3.4.2 Pietrosità

Con il termine pietrosità si indica la percentuale di pietre o altri materiali, di dimensioni superiori a 2 mm, presenti sulla superficie del suolo. La pietrosità ha un effetto determinante, anche se variabile, sul ruscellamento e sull'erosione del suolo, sulla capacità idrica dei suoli e sulla produzione di biomassa, tale da svolgere un importante ruolo nella protezione del suolo in ambiente mediterraneo (Kosmas et al., 1999). La presenza di ciottoli, nonostante l'aumento del ruscellamento e dell'erosione, consente una maggiore conservazione dell'umidità in condizione di moderato deficit idrico nel periodo primaverile e in quello estivo.

In base alle considerazioni esposte, sono state proposte (Kosmas, 1999) tre classi di pietrosità crescente alle quali corrisponde un maggiore rischio di erosione, riportate nella Tabella seguente. La cartografia relativa è riportata in Fig. 3.13.

Classe	Pietrosità (%)	Indice
1	>60	1,0
2	20-60	1,3
3	<20	2,0

Tabella 3-3Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per classi di Pietrosità.

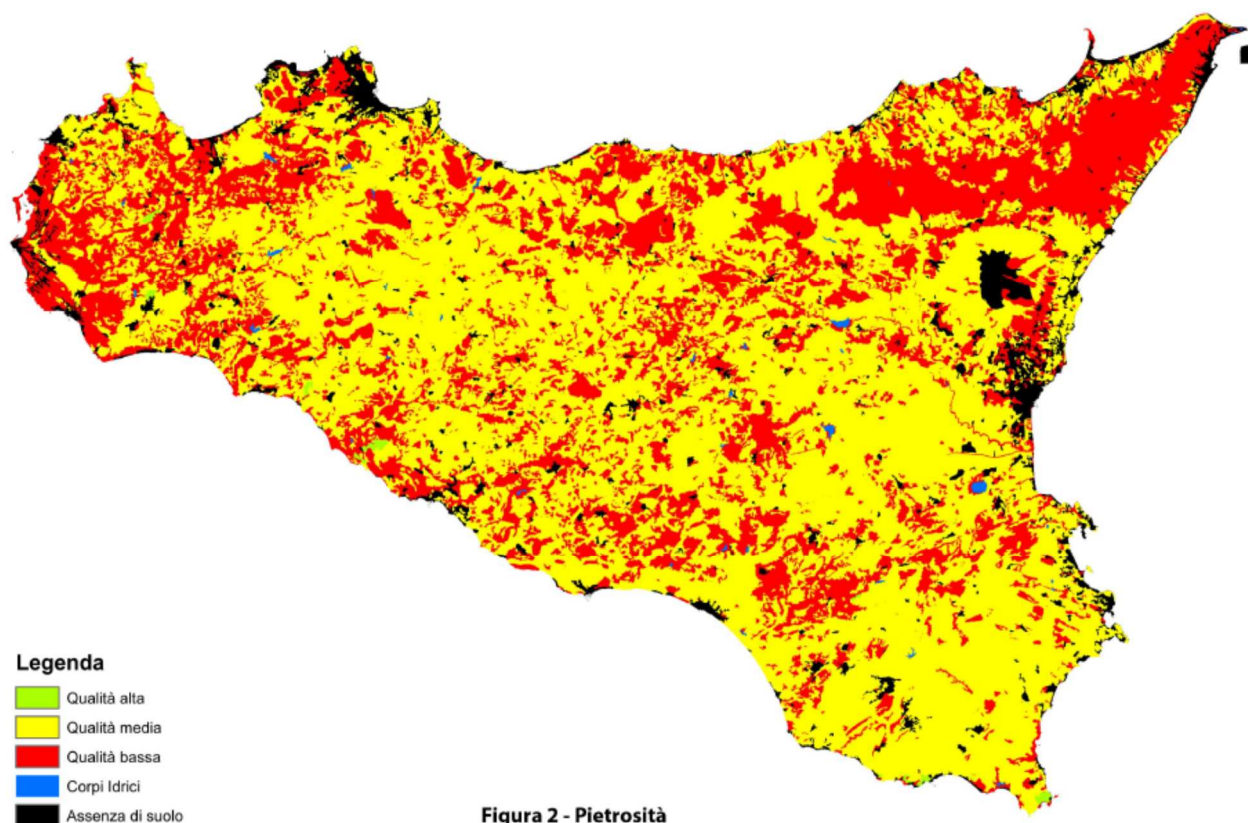


Figura 3-13. Indice di sensibilità alla desertificazione per Pietrosità.

3.3.4.3 Profondità

La profondità del suolo è intesa come lo spessore tra il confine del suolo e uno strato continuo e coerente sottostante, in particolare la profondità radicabile esprime la distanza tra la superficie e gli orizzonti o strati del suolo con caratteristiche tali da ostacolare lo sviluppo e l'approfondimento degli apparati radicali. In generale, all'aumentare della profondità di un suolo aumenta la capacità di riserva idrica e di conseguenza il grado di copertura vegetale, condizioni che determinano maggiore resistenza all'erosione e alla desertificazione.

La Tabella seguente mostra le diverse classi di profondità dei suoli e l'indice di desertificazione corrispondente. La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-14.

Classe	Descrizione	Profondità (cm)	Indice
1	Profondo	>75	1,0
2	Moderato	30-75	2,0
3	Poco profondo	15-30	3,0
4	Molto poco profondo	<15	4,0

Tabella 3-4 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per classi di Profondità.

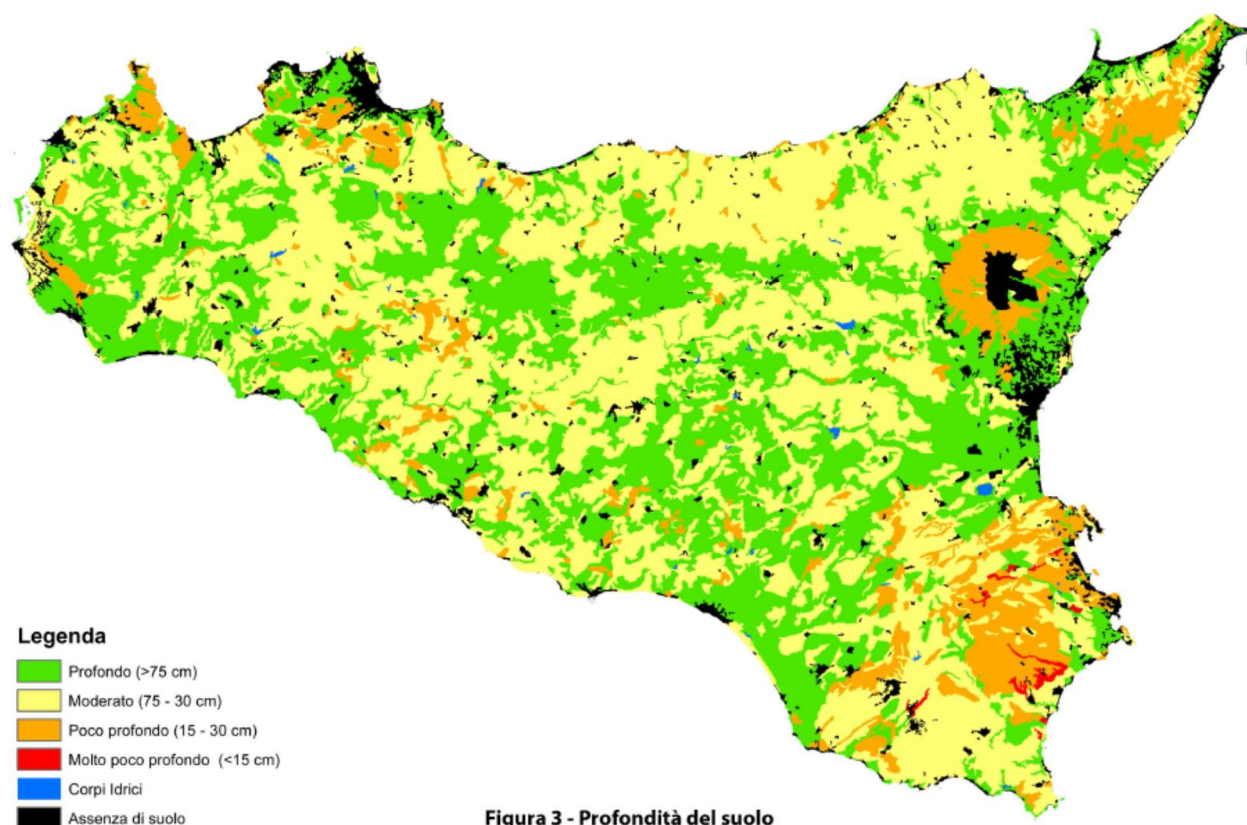


Figura3-14. Indice di sensibilità alla desertificazione per Profondità del Suolo.

3.3.4.4 Pendenza

La pendenza e le altre caratteristiche topografiche sono molto importanti nel determinare il livello di erosione di un suolo, che è considerato grave quando l'angolo di pendenza raggiunge valori pari o maggiori rispetto ad una soglia critica e successivamente cresce in modo esponenziale. Nei suoli a forte pendenza il rischio di erosione dipende dalla frequenza delle precipitazioni con elevata intensità ed è accentuato se associato ad una gestione agronomica poco conservativa (lavorazioni profonde ed eseguite secondo le linee di massima pendenza, ecc.).

Il calcolo delle classi di pendenza è stato effettuato attraverso l'elaborazione di un DEM (Digital Elevation Model) con risoluzione spaziale di 40x40 metri. I valori di pendenza che definiscono le classi differiscono da quelli consigliati dalla metodologia secondo Kosmas.

Si è ritenuto opportuno apportare questa correzione in modo da considerare classi di pendenza standard che trovano ampio riscontro in letteratura (cfr. Madrau et al., 1999).

La Tabella seguente mostra le classi di pendenza e gli indici corrispondenti.

Classe	Pendenza (%)	Indice
1	<6	1,0
2	6-18	1,2
3	18-35	1,5
4	>35	2,0

Tabella 3-5 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per classi di Pendenza.

La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-15.

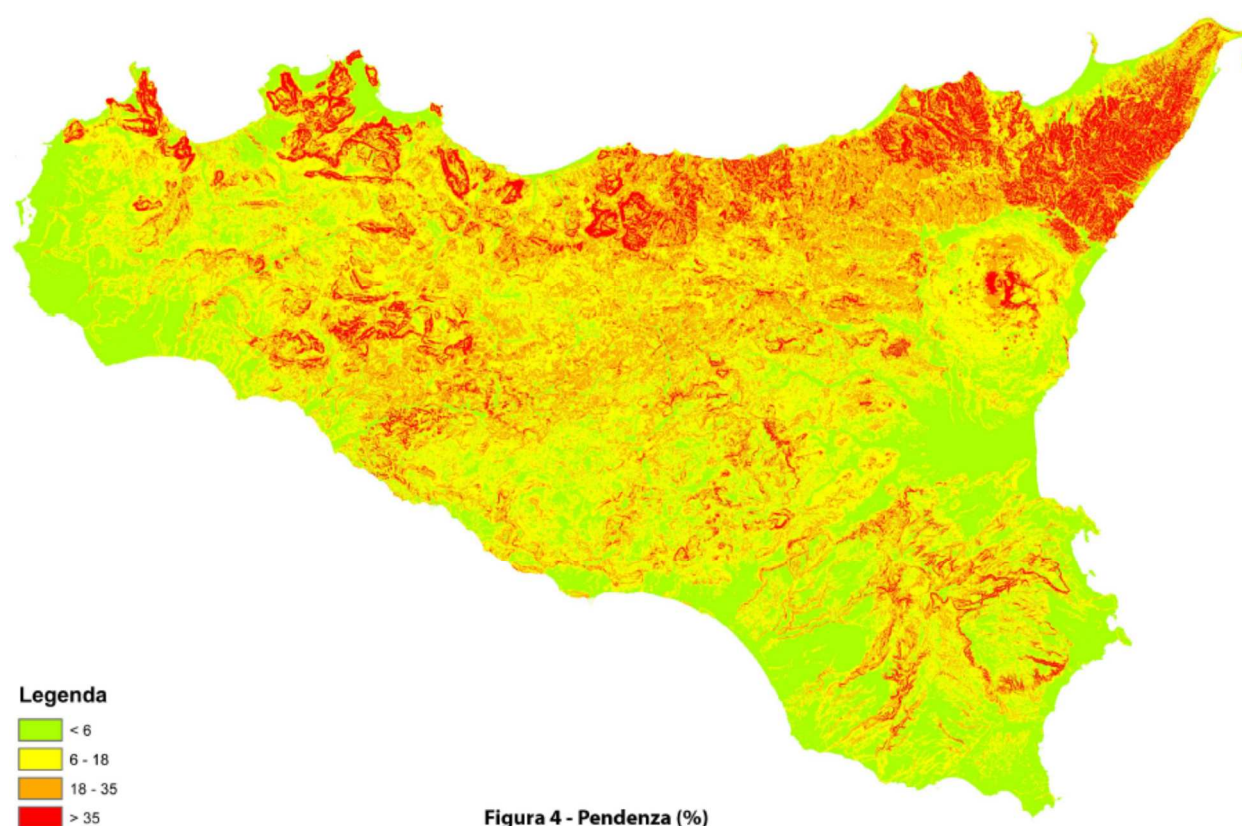


Figura3-15. Indice di sensibilità alla desertificazione per Pendenza.

3.3.4.5 Drenaggio

Il drenaggio rappresenta una qualità del suolo relativa alla frequenza e alla durata dei periodi durante i quali il suolo non è saturo o è parzialmente saturo di acqua. La valutazione si riferisce alle condizioni stagionali più limitanti. E' un dato molto importante per capire le potenzialità produttive di un suolo e fornisce utili indicazioni sulle sue limitazioni ambientali e gestionali. Condizioni di drenaggio imperfetto associate all'utilizzo di acque irrigue di scarsa qualità (saline), in particolare negli ambienti caldo aridi

caratterizzati da elevata evapotraspirazione, determinano il mancato trasporto dei sali verso gli strati più profondi favorendo così il processo di salinizzazione del suolo e il rischio di desertificazione.

In base a tali considerazioni, si possono definire le classi indicate nella Tabella seguente. La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-16.

Classe	Drenaggio	Indice
1	Ben drenato	1,0
2	Imperfettamente drenato	1,2
3	Scarsamente drenato	2,0

Tabella 3-6 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per classi di Drenaggio

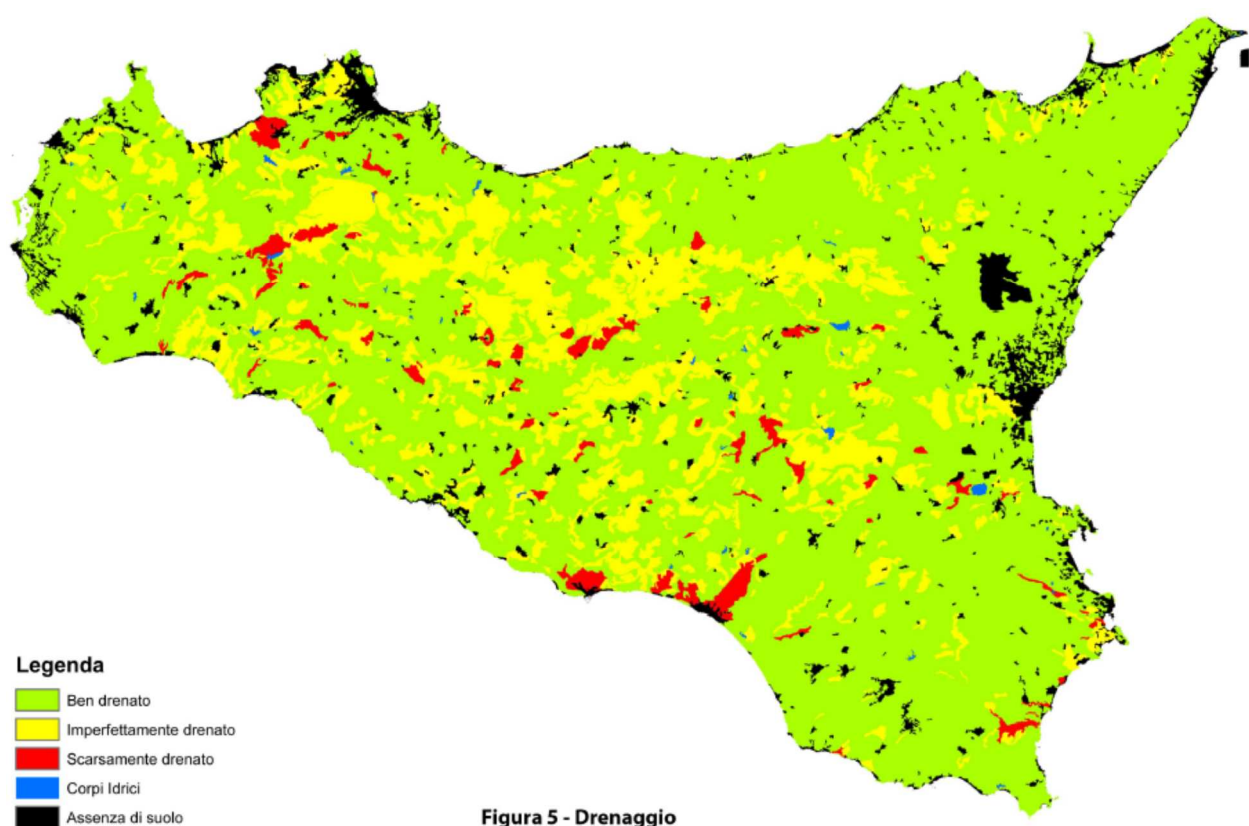


Figura3-16. Indice di sensibilità alla desertificazione per Drenaggio.

3.3.4.6 Tessitura

Si definisce tessitura del suolo la distribuzione in classi di grandezza delle particelle elementari del suolo. La distribuzione in classi che si applica alla frazione minerale del suolo di dimensioni inferiori ai 2 mm definisce i limiti di dimensione della sabbia, del limo e dell'argilla.

La classificazione utilizzata è quella consigliata dal Dipartimento di Agricoltura degli Stati Uniti (USDA) del 1975, che distingue i diversi tipi di suolo in base alla composizione in sabbia. In base a questa classificazione, a ciascun gruppo tessiturale è stato assegnato un indice in relazione alla maggiore o minore capacità di trattenere l'acqua e di resistere all'erosione.

Classe	Classi tessiturali	Definizioni	Indice
1	F, FSA, FS, SF, FA	A = Argilloso; AL = Argilloso-Limoso; AS = Argilloso-Sabbioso; FLA = Franco-Limoso-Argilloso; FA = Franco-Argilloso; FSA = Franco-Sabbioso-Argilloso; FL = Franco-Limoso; F = Franco; FS = Franco-Sabbioso; SF = Sabbioso-Franco; S = Sabbioso	1,0
2	AS, FL, FLA		1,2
3	L, A, AL		1,6
4	S		2,0

Tabella 3-7 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per classi di Tessitura

La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-17.

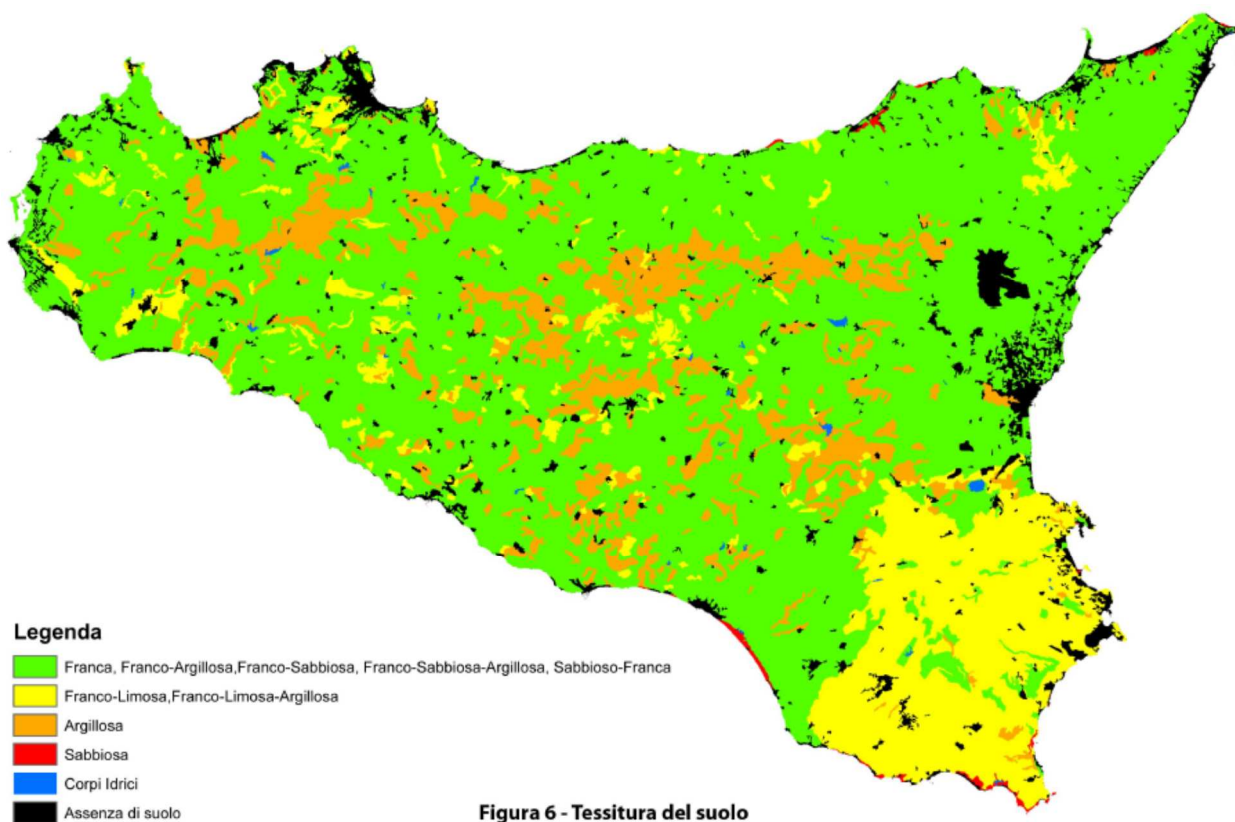


Figura3-17. Indice di sensibilità alla desertificazione per Tessitura.

3.3.4.7 Calcolo dell'Indice di Qualità del Suolo (SQI)

L'Indice di Qualità del Suolo è stato ottenuto, attraverso l'uso di tecniche GIS, dalla media geometrica dei sei indicatori sopra descritti:

$$SQI = (Litologia \times Pietrosità \times Profondità \times Pendenza \times Drenaggio \times Tessitura)^{1/6}$$

Il risultato di tale elaborazione è un indice inteso come piano informativo che possiede dei valori numerici esplicativi di classi di qualità del suolo. La Tabella seguente elenca i limiti delle classi:

Indice di Qualità del Suolo	Descrizione	Range
1	Qualità alta	<1,13
2	Qualità media	1,13-1,46
3	Qualità elevata	>1,46

Tabella 3-8 Valori dell'indice di Qualità del Suolo per desertificazione

La cartografia relativa all'Indice di **Qualità del suolo** prodotta dalla sovrapposizione delle carte ancillari pertinenti è riportata in Fig. 3-18.

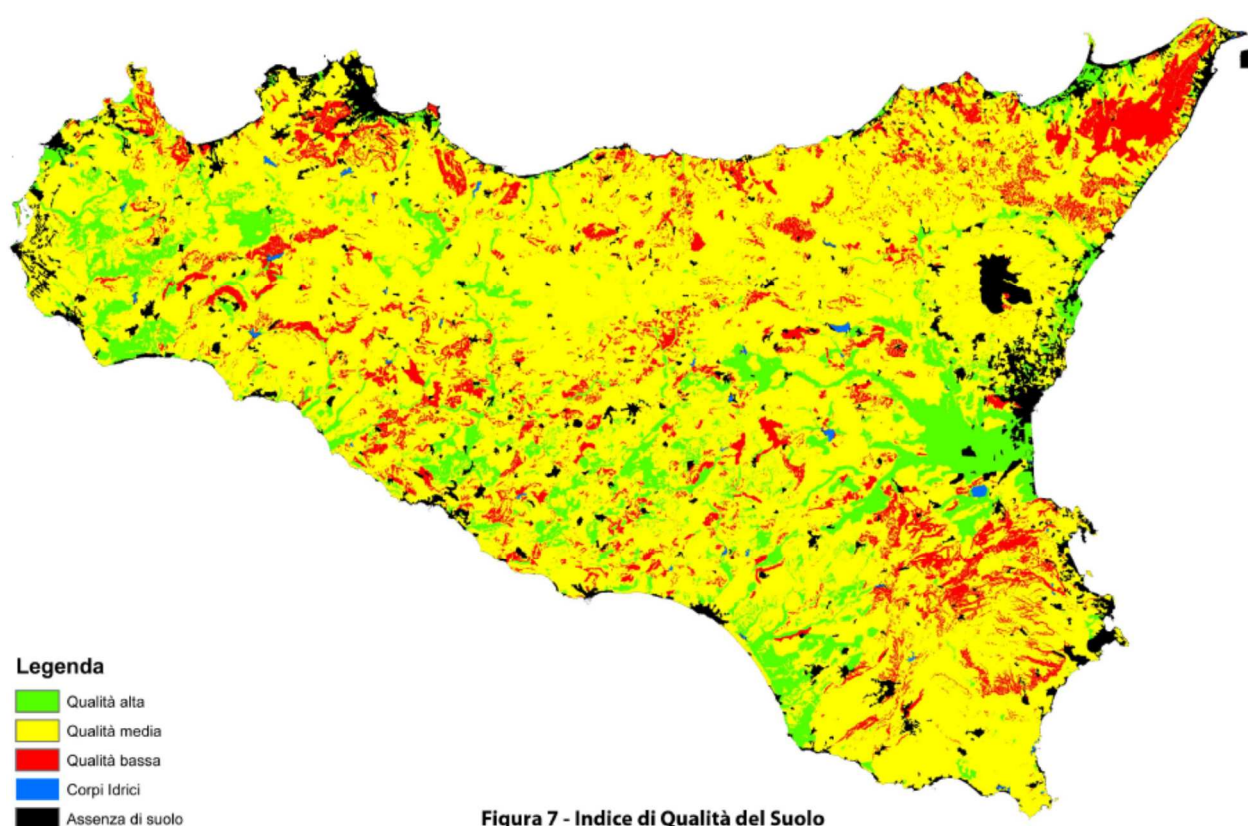


Figura3-18. Indice di Qualità del Suolo.

3.3.5 Carta dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)

Il deficit idrologico, la distribuzione irregolare delle precipitazioni durante l'anno, la frequenza degli eventi estremi e la conseguente durata irregolare della stagione vegetativa, nell'ambiente mediterraneo sono le principali caratteristiche del clima che contribuiscono al degrado del territorio.

Gli indicatori climatici considerati quali importanti fattori di desertificazione sono:

- l'esposizione dei versanti;

- l'erosività delle precipitazioni;
- l'indice di aridità;
- la stagionalità delle precipitazioni.

3.3.5.1 Esposizione dei versanti

L'esposizione dei versanti, in relazione all'influenza che la stessa ha sugli elementi climatici, è ritenuta un importante fattore per quanto attiene i processi di degradazione del territorio, alla luce dell'influenza che la stessa ha sull'ambiente microclimatico in funzione dell'angolo e della durata dell'incidenza dei raggi solari sulla superficie del terreno. Negli ambienti mediterranei, le aree con esposizione dei versanti a Sud e ad Ovest sono quelle interessate da una più elevata quantità di energia solare incidente. Queste sono, pertanto, quelle più calde e mostrano livelli di evapotraspirazione più marcati ed una conseguente maggiore perdita di acqua, rispetto ai versanti esposti a Nord e ad Est. Gli studi effettuati da Kosmas (1999) in ambienti caratterizzati da diverse tipologie di vegetazione hanno rilevato che il livello di erosione osservato lungo i versanti esposti a Sud sia pari a circa il doppio o anche superiore rispetto ai versanti Nord. Secondo tali studi è stato possibile determinare i seguenti indici:

Class e	Esposizio ne versanti	Indice
1	NO-NE	1,0
2	SO-SE	2,0

Tabella 3-9: Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Esposizione dei versanti

Il dato cartografico di base, preso come riferimento per il calcolo dell'esposizione, è il modello digitale del terreno (DEM) con risoluzione spaziale di 40 metri. Questo livello di dettaglio consente una buona distinzione delle diverse esposizioni dei versanti, e quindi delle conseguenze sulle condizioni energetiche e climatiche che possono condizionare i processi di erosione, in relazione allo stato della vegetazione. La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-19.

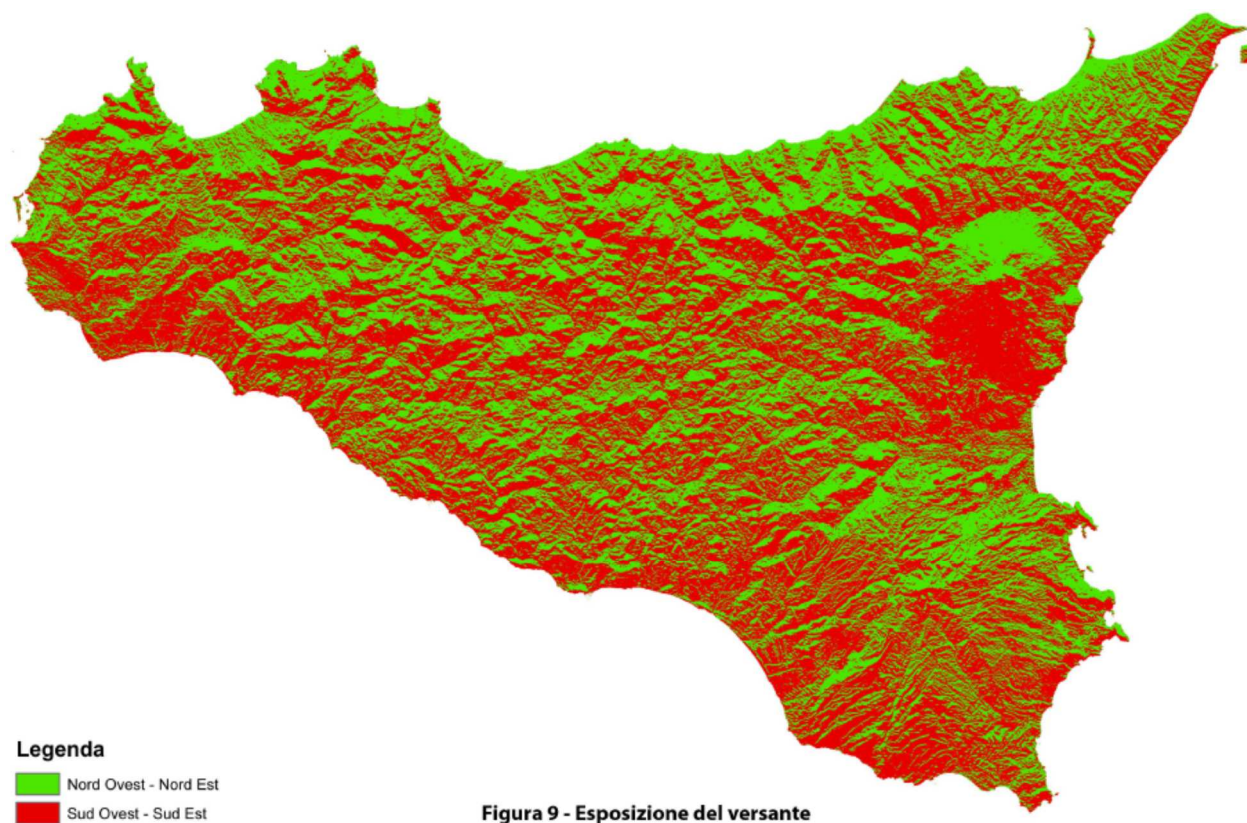


Figura 3-19.Indice di sensibilità alla desertificazione per Esposizione dei versanti.

3.3.5.2 Erosività delle precipitazioni

Nella caratterizzazione climatica del territorio siciliano, ai fini della determinazione delle zone sensibili alla desertificazione, deve essere preso in considerazione tra gli indicatori rappresentativi quello riguardante l'erosione idrica superficiale. In Sicilia, in particolare, le precipitazioni risultano distribuite in un numero limitato di giorni piovosi all'interno dell'anno (mediamente 65 giorni), che si concentrano in pochi mesi. Per questa ragione le caratteristiche pluviometriche devono essere rappresentate anche in termini di intensità al fine di tenere conto dell'influenza sui processi erosivi. L'indice di aggressività della pioggia "R", utilizzato nell'ambito dei modelli USLE⁴, costituisce un importante elemento di valutazione.

Infatti, da un lato esso tiene conto di alcuni importanti parametri che caratterizzano l'agente erosivo, quali l'energia e l'intensità della pioggia, dall'altro è spesso l'unico strumento che consente di stabilire quali sono, in un dato territorio, le aree a maggior rischio erosivo e quindi quelle che necessitano di interventi di protezione del suolo.

⁴ L'equazione universale per la perdita di suolo (Universal Soil Loss Equation – USLE) è un modello di erosione semplificato, a parametri concentrati ed a scala annuale.

La complessità di calcolo di tale indice, sommata all'esigenza di avere delle informazioni riguardanti la distribuzione spaziale del rischio erosivo in una data regione, ha indotto numerosi ricercatori ad individuare delle metodologie semplificate per il calcolo di "R". Per il territorio siciliano il fattore "R" risulta correlato linearmente al prodotto delle intensità delle piogge di durata 1, 6 e 24 ore e tempo di ritorno 2 anni, rispettivamente indicate $I_{1,2}$, $I_{6,2}$, $I_{24,2}$ mediante la seguente relazione⁵:

$$R = 183,8 + 1,396 * I_{1,2} * I_{6,2} * I_{24,2}$$

Per il calcolo di "R" si è partiti dalla conoscenza della distribuzione spaziale delle piogge con assegnato tempo di ritorno T

$$h_{t,T} = K_T * a * t^n$$

in cui $h_{t,T}$ è l'altezza di pioggia di durata t e tempo di ritorno T, mentre K_T è il coefficiente di scala, detto coefficiente di crescita, che dipende dal tempo di ritorno T e dal coefficiente di variazione della stazione CVS attraverso la seguente relazione:

$$K_T = 1 - CV (0,450 + 0,779 \ln(\ln (T/(T - 1))))$$

Per l'applicazione si sono utilizzate le distribuzioni regionali (formato raster) dei parametri CV a e n ricavati per la Sicilia del Dipartimento di ingegneria idraulica dell'Università degli Studi di Palermo utilizzati per la redazione dei Piani di Assetto Idrogeologico. Per l'indicatore elaborato è stato creato un tematismo in ambiente GIS attribuendo i seguenti valori dell'indicatore compresi tra 1 e 2:

Class e	Qualità	Indice
1	Alta	1,0
2	Medio - alta	1,25
3	Media	1,5
4	Medio bassa	1,75
5	Bassa	2,0

Tabella 3-10: Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Erosività delle precipitazioni

La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-20.

⁵ Ferro V., Giordano G., Iovino M. (1991). "La carta delle isoerodenti e del rischio erosivo nello studio dell'erosione idrica del territorio siciliano". Idrotecnica. (4):283-296.

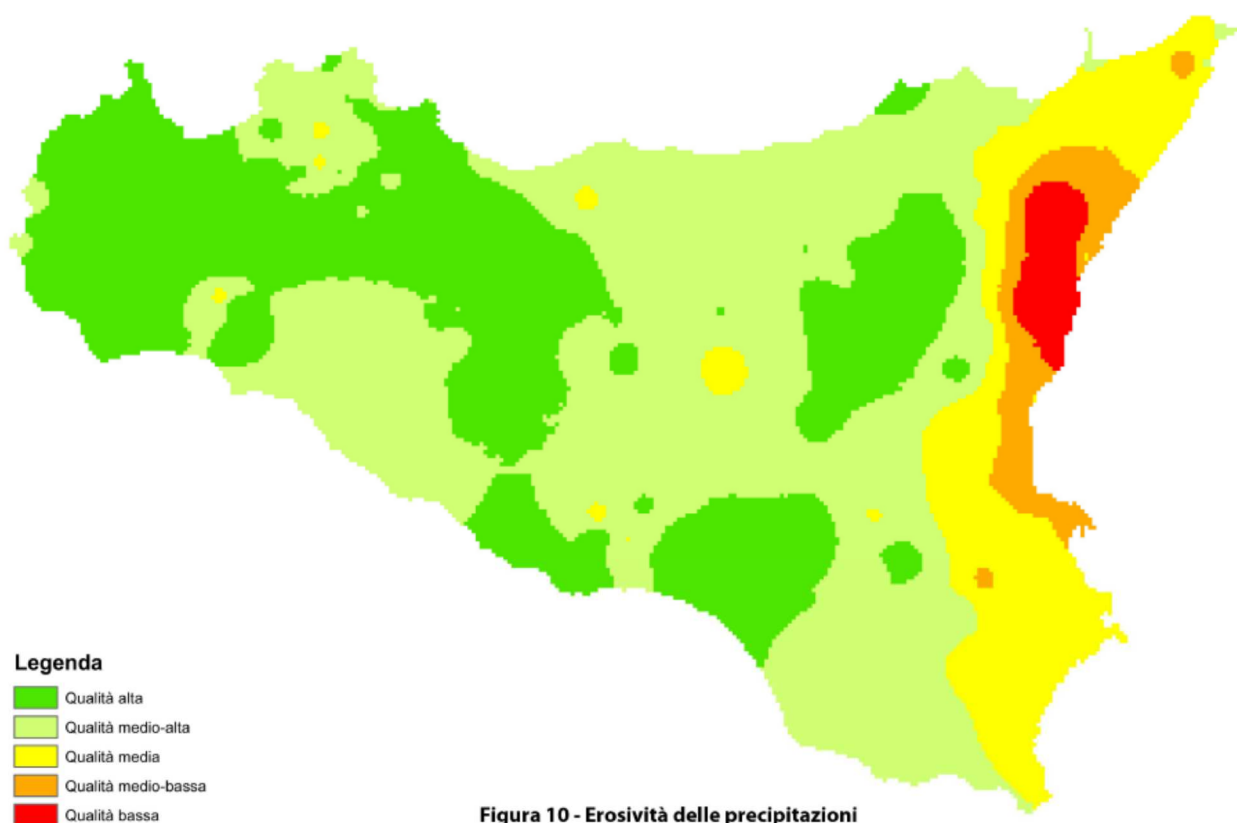


Figura 3-20. Indice di sensibilità alla desertificazione per Erosività delle precipitazioni.

3.3.5.3 *Indice di aridità*

L'indice di aridità, nel caso della Sicilia, è dato dal rapporto fra i valori totali annui di l'evapotraspirazione potenziale e i valori totali annui di precipitazioni. La carta dell'indice di aridità è stata ottenuta attraverso il calcolo raster in ambiente GIS, utilizzando come dati in input le carte delle precipitazioni e di evapotraspirazione potenziale, realizzate secondo la metodologia descritta di seguito.

3.3.5.3.1 Carte delle precipitazioni

Le carte delle precipitazioni sono quelle della seconda edizione dell'Atlante Climatologico della Sicilia⁶, a cura del SIAS, a cui si rimanda per gli aspetti metodologici.

3.3.5.3.2 Carta dell'evapotraspirazione potenziale

In agrometeorologia e idrologia, l'evapotraspirazione, o potere evaporante dell'atmosfera, rappresenta la perdita di acqua dal suolo per evaporazione diretta dalle superfici libere e traspirazione delle piante. Tale processo bio-fisico si può misurare o

⁶ Drago A., Cartabellotta D., Lo Bianco B., Lombardo M., 2000. Regione Siciliana – Assessorato Agricoltura e Foreste, SIAS - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano (<http://www.sias.regione.sicilia.it>)

stimare. Mentre per la misura si utilizzano metodi e strumenti in genere complessi e costosi (es. lisimetri), per la stima sono state messe a punto, nel tempo, diverse metodologie e algoritmi, basati sulle relazioni esistenti fra i processi evapotraspirativi e le diverse variabili meteorologiche. Tali algoritmi, in genere noti con il nome degli studiosi che li hanno proposti, si distinguono soprattutto per il numero di variabili meteorologiche considerate per la stima.

I metodi più recenti, caratterizzati da una maggiore completezza e affidabilità, sono basati sulle relazioni con tutte le variabili che influenzano il processo evapotraspirativo: radiazione solare, temperatura e umidità dell'aria, intensità del vento. Fra tali metodi, quello di *Penman-Monteith*, recentemente rivisto e proposto nell'ambito del quaderno FAO-56⁷, è considerato il più affidabile soprattutto per applicazioni giornaliere ed orarie.

Tuttavia, nei territori in cui si opera non sempre si dispone di serie storiche complete di dati meteorologici, per le quattro variabili necessarie alla stima secondo tali metodologie. Soprattutto nel passato, nella gran parte dei casi si disponeva solo di dati di temperatura dell'aria. In queste circostanze la scelta non può che limitarsi a quelle equazioni che utilizzano soltanto tale variabile, quale ad esempio quella di *Thornthwaite* (1957)⁸.

Nel caso della Sicilia, per tenere conto della maggiore correttezza della stima utilizzando i metodi più completi, ma non disponendo di serie trentennali di dati delle quattro variabili necessarie, si è ricorso ad una doppia stima sulle stazioni della rete del SIAS, utilizzando contemporaneamente i metodi di *Penman-Monteith* e di *Thornthwaite*.

Le cartografie di partenza sono quelle della seconda edizione dell'Atlante climatologico della Sicilia (trentennio 1965-1994), ottenute applicando il metodo di *Thornthwaite* in ambiente GIS: in particolare, attraverso l'elaborazione dell'algoritmo nell'ambito di ciascun singolo pixel partendo, come dato meteorologico di input, dalle carte di temperatura in formato raster.

Successivamente, per tenere conto delle differenze anemometriche e igrometriche su base topografica, si sono utilizzati i parametri di correzione ottenuti dal confronto tra i valori mensili stimati con i due metodi sui punti stazione più significativi.

⁷ Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M., 1998. "Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements". FAO Irrigation and Drainage Paper 56, Roma.

⁸ Thornthwaite C.W., Mather J.R. (1957): "Instructions and tables for computing potential evapotranspiration and the water balance". *Climatology*, X, 3. Centerton N.Y. USA, pp. 85.

3.3.5.3.3 Carte dell'Indice di Aridità

Sulla base dei risultati del calcolo raster delle due cartografie, si è definita la carta dell'indice di aridità, che è stata poi riclassificata secondo i seguenti valori:

Class e	Indice di Aridità	Indice
1	0.80 – 0.65	1,0
2	0.65 – 0.50	1,2
4	0.50 – 0.35	1,4
5	0.35 – 0.20	1,6

Tabella 3-11 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Aridità

La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-21

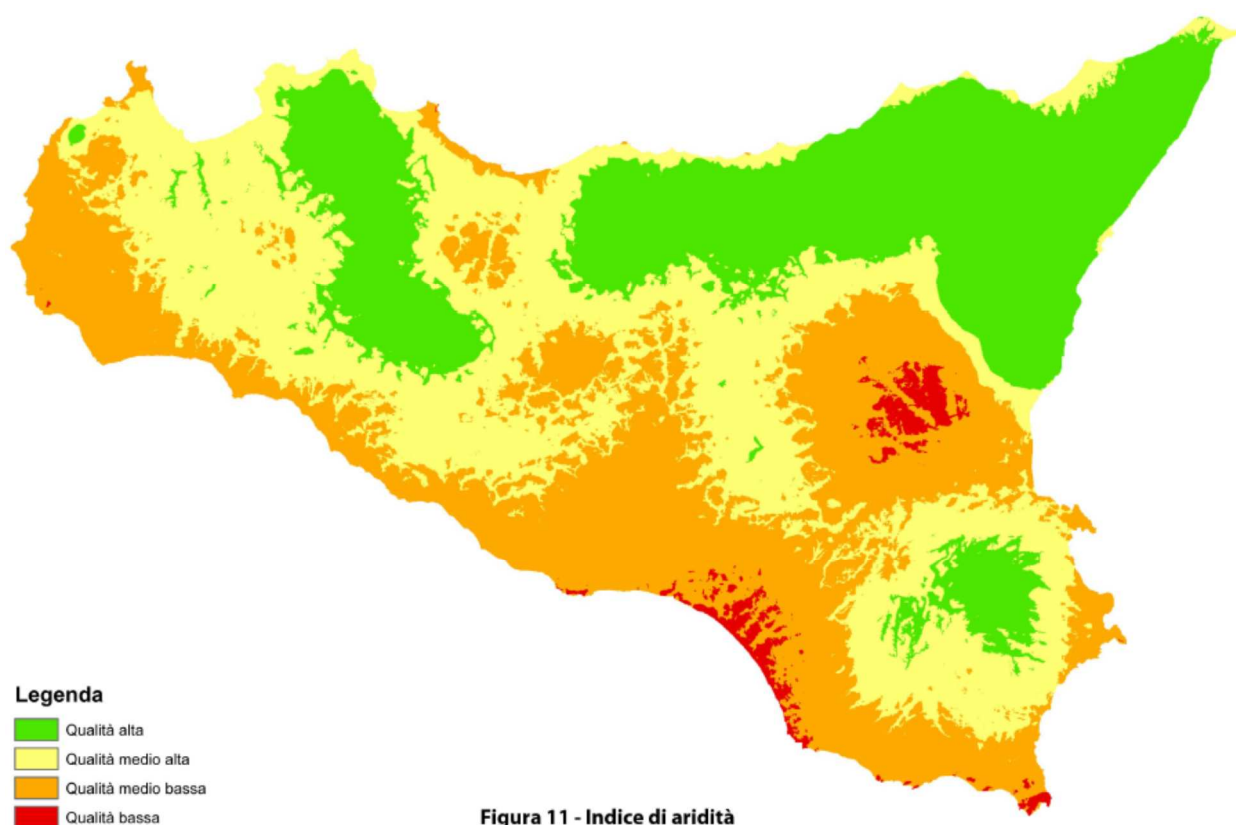


Figura 3-21. Indice di sensibilità alla desertificazione per Aridità.

3.3.5.4 Stagionalità delle precipitazioni

Per la realizzazione di tale carta è stato applicato l'indice "Rainfall Seasonality" proposto nell'ambito della pubblicazione "DIS4ME - Desertification Indicator System for Mediterranean Europe" dell'Università della Basilicata. In particolare, l'elaborazione dell'algoritmo è stata effettuata nell'ambito di ciascun singolo pixel (a partire dalle carte di

precipitazioni in formato raster, della seconda edizione dell'Atlante climatologico della Sicilia).

La cartografia, riportata in Fig. 3-22, è stata riclassificata secondo i seguenti valori.

Class e	Stagiona lità piogge	Indice
1	0.40 – 0.59	1,35
2	0.60 – 0.79	1,55
3	0.80 – 0.99	1,70

Tabella 3-12 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Stagionalità delle piogge

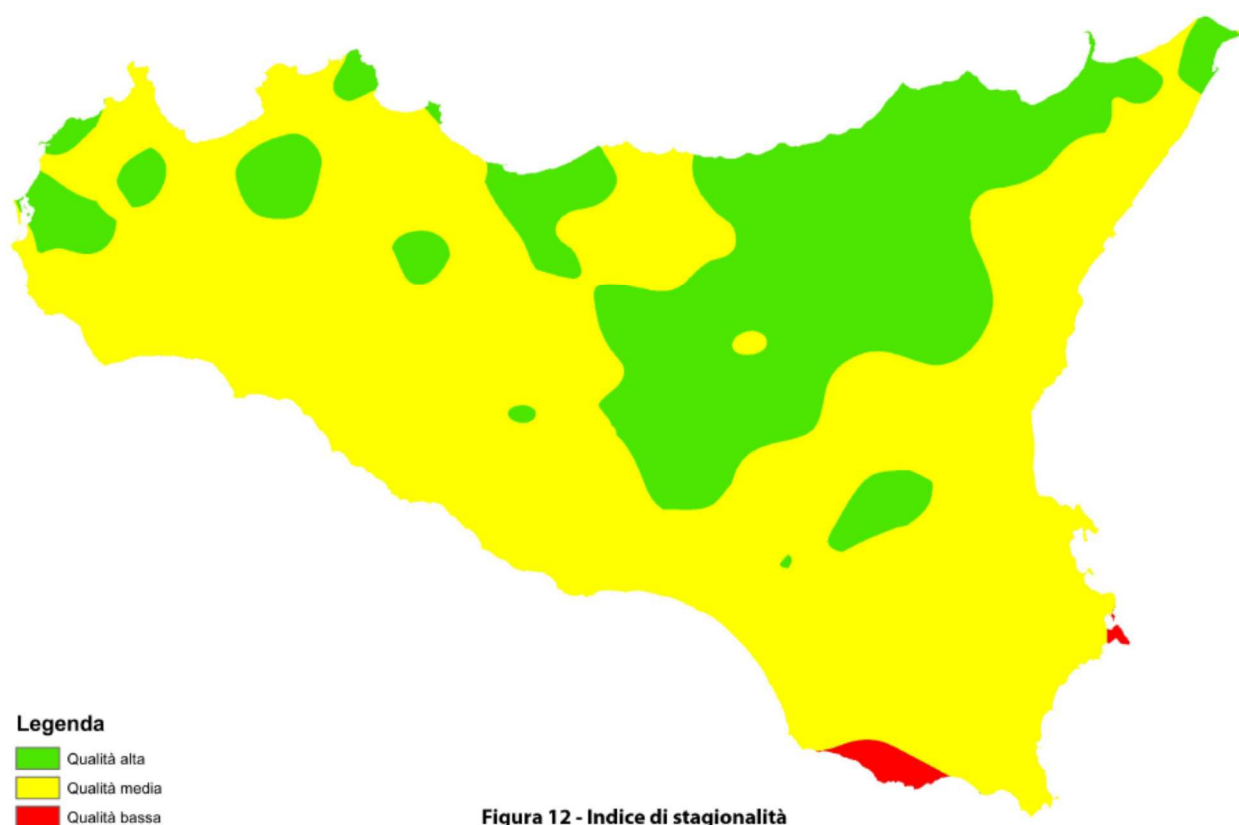


Figura 3-22 Indice di sensibilità alla desertificazione per Stagionalità delle piogge.

3.3.5.5 Calcolo dell'Indice di Qualità del Clima (CQI)

L'elaborazione dei quattro indicatori descritti ha consentito di ottenere l'Indice di Qualità del Clima attraverso la seguente relazione:

$$\text{CQI} = (\text{Esposizione dei versanti} \times \text{Erosività delle precipitazioni} \times \text{Indice di aridità} \times \text{Stagionalità delle precipitazioni})^{1/4}$$

Indice di Qualità del Clima	Descrizione	Range
1	Alta qualità	<1,15
2	Moderata qualità	1,15-1,81
3	Bassa qualità	>1,81

Tabella 3-13 Valori dell'Indice di Qualità del Clima per desertificazione

La cartografia relativa all'Indice di Qualità del Clima prodotta dalle quattro carte ancillari sovrapposte è riportata in Fig. 3-23.

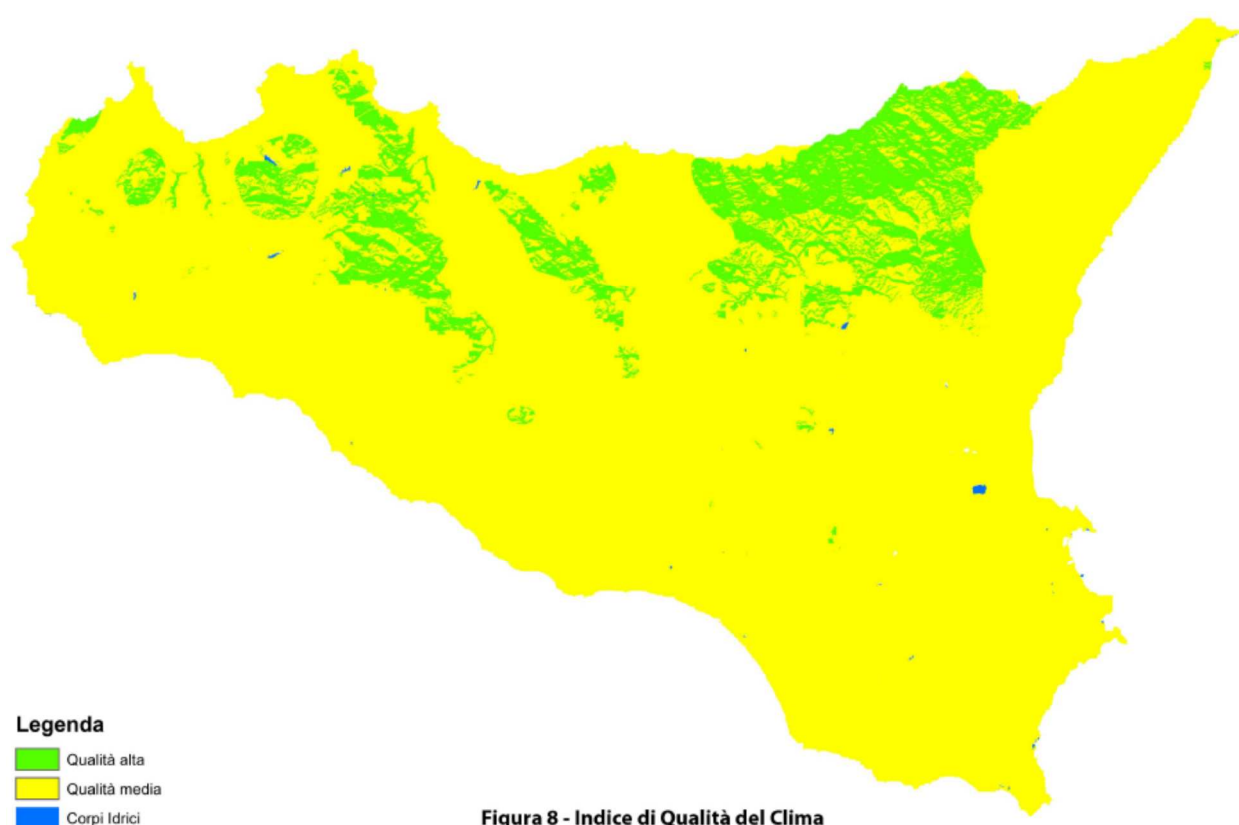


Figura 3-23 Indice di Qualità del Clima.

3.3.6 Carta dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)

La copertura vegetale svolge un ruolo importante nei processi di desertificazione in quanto è in grado di stabilizzare il suolo, riducendo l'impatto delle precipitazioni ed in certe condizioni controllare l'erosione da ruscellamento superficiale. La sua composizione può essere rapidamente alterata lungo i pendii delle aree collinari mediterranee a seconda delle condizioni climatiche e del periodo dell'anno. Nelle aree caratterizzate da medie annuali di precipitazione inferiori a 300 mm e tassi di evapotraspirazione piuttosto alti, l'acqua del

terreno disponibile per le piante è ridotta drasticamente e il suolo rimane relativamente nudo favorendo lo scorrimento dell'acqua superficiale.

La cartografia utilizzata relativa all'uso e alla copertura del suolo con utilizzazione agricola è stata la CORINE⁹ Land Cover in scala 1:100.000, aggiornata al 2006. Per le aree a copertura boschiva è stata utilizzata la Carta Forestale della Sicilia (Comando del Corpo Forestale della Regione Sicilia, 2011)¹⁰, redatta su base tipologica in scala 1:10.000, che si basa sulla definizione di bosco della FAO-FRA 2000. La scelta è stata dettata da diverse ragioni, tra cui il fatto che le sue informazioni sono paragonabili a quelle di altre regioni europee.

Inoltre, per la valutazione dell'indicatore *Rischio d'Incendio* è stata utilizzata la *Carta del rischio di incendio estivo* redatta dal Comando del Corpo Forestale della Regione Sicilia consultabile nel sito del Sistema Informativo Forestale della Regione e facente parte del "Piano regionale per la programmazione delle attività di previsione, prevenzione e lotta attiva contro gli incendi boschivi 2009-2013".

Gli indicatori di qualità della vegetazione considerati sono stati:

- Rischio d'incendio
- Protezione dall'erosione
- Resistenza alla siccità
- Grado di copertura vegetale

3.3.6.1 *Rischio d'incendio*

In Sicilia, come del resto nell'area del bacino del Mediterraneo, il fuoco rappresenta una delle cause principali di degrado del suolo. La frequenza degli incendi è aumentata drasticamente durante gli ultimi decenni con conseguenze spesso drammatiche per l'erosione dei suoli e la biodiversità.

La valutazione del rischio d'incendio costituisce un presupposto fondamentale per qualsiasi tipo di pianificazione territoriale dove la possibilità che un incendio si sviluppi dipende principalmente da tre gruppi di fattori strutturali:

⁹ Programma comunitario CORINE (CooRdination de l'Information sur l'Environnement), varato dal Consiglio delle Comunità Europee nel 1985, "con lo scopo primario di verificare dinamicamente lo stato dell'ambiente nell'area comunitaria, al fine di orientare le politiche comuni, controllarne gli effetti, proporre eventuali correttivi".

¹⁰ Hofmann A., Cibella R., Bertani R., Miozzo M., Fantoni I., Luppi S. (a cura di) 2011 – Strumenti conoscitivi per la gestione delle risorse forestali della Sicilia. Sistema Informativo Forestale. Assessorato Territorio ed Ambiente. Regione Siciliana 208 pp.

- ambientali fissi, quali pendenza, esposizione ed illuminazione e variabili, quali temperatura, precipitazioni, umidità relativa, vento ecc.;
- copertura vegetale del suolo con le sue caratteristiche quali densità, umidità, altezza combustibilità;
- attività antropica in tutte le sue forme ed interazioni con l'ambiente.

Per le finalità della valutazione del rischio d'incendio, sono stati presi esame soltanto i fattori predisponenti: l'insieme, cioè, delle variabili che con azione combinata consentono il verificarsi delle potenziali condizioni per lo sviluppo del fuoco. Per impostare l'analisi dei fattori predisponenti il rischio d'incendio e quindi l'analisi del rischio derivato dalle variabili, sono stati presi in esame i seguenti cinque layer di cui si indica il relativo peso (P_i) sul rischio d'incendio:

- *Viabilità* (strade di circolazione principali) – $P_v = 15\%$
- *Pendenze* (derivata dal DEM della Regione Sicilia) – $P_p = 15\%$
- *Esposizione* (derivata dal DEM della Regione Sicilia) – $P_e = 10\%$
- *Bioclima siciliano* (fonte "Atlante climatologico della Sicilia, seconda edizione" - Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano- SIAS) – $P_b = 25\%$
- *Modelli di combustibile* attribuiti alle varie classi di uso del suolo cartografate (boschi e arbusteti, praterie, pascoli, incolti e frutteti abbandonati, impianti di arboricoltura da legno) – $P_c = 35\%$

Ad ogni layer, corrispondente a ciascun fattore di rischio, è stato assegnato un coefficiente di rischio C_i suddiviso in 4 classi (90-100, 70-80, 50-60, 0-40). L'operazione di sovrapposizione dei layer tramite grid (elaborazione per pixel) è stata eseguita applicando la seguente formula:

$$RI = P_v \cdot C_v + P_p \cdot C_p + P_e \cdot C_e + P_b \cdot C_b + P_c \cdot C_c$$

dove: P_i = peso del layer "i" e C_i = coefficiente di rischio del layer "i".

La mappa di rischio d'incendio è stata definita secondo quattro classi. Le soglie delle quattro classi di rischio isodimensionali sono state stabilite coerentemente con le norme previste dal Piano anti-incendio boschivo della Regione Siciliana (Comando del Corpo Forestale).

Il rischio di incendio e l'indice corrispondente possono essere così riassunti:

Classe	Rischio d'incendio ¹¹	Indice
1	Basso	1,0
2	Medio	1,3
3	Alto	1,6
4	Molto alto	2,0

Tabella 3-14 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Rischio d'incendio

La cartografia relativa è riportata nella Fig. 3-24.

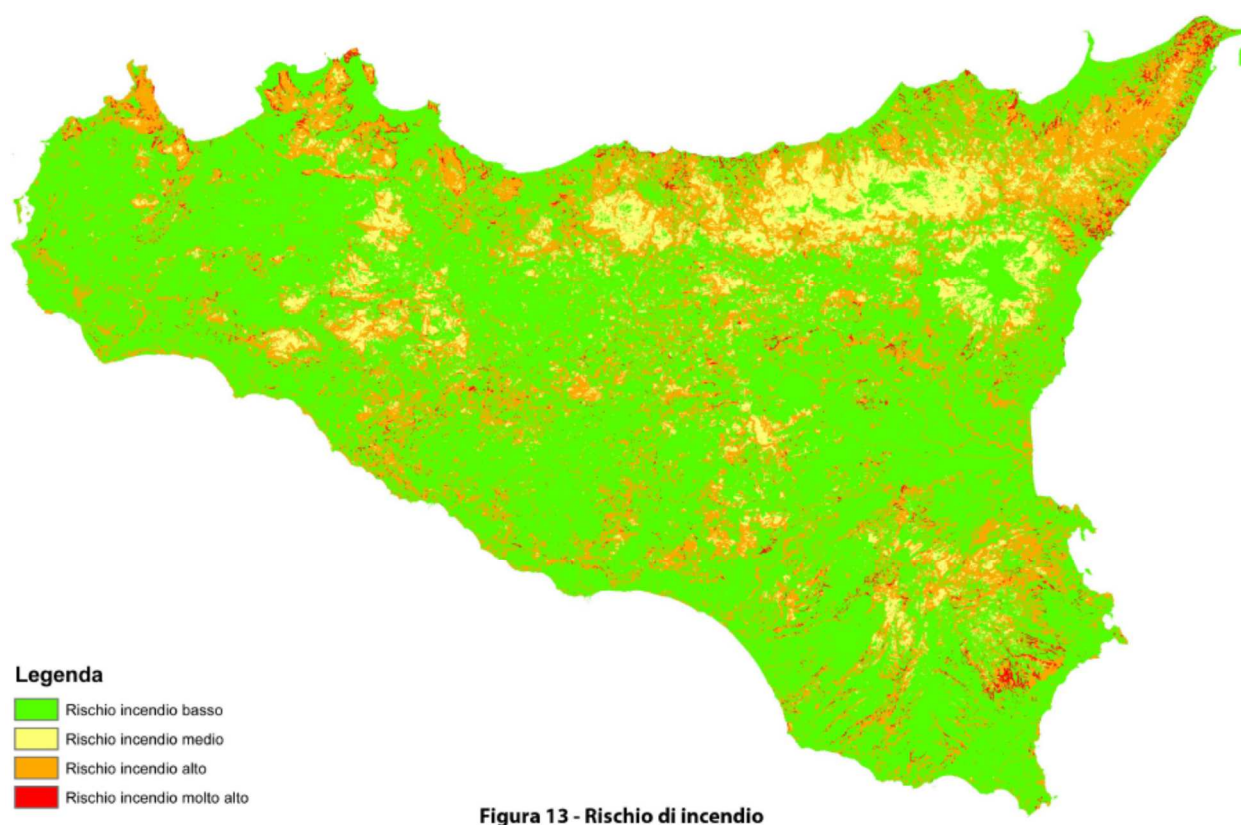


Figura 3-24.Indice di sensibilità alla desertificazione per Rischio d'incendio.

3.3.6.2 Protezione dall'erosione

La vegetazione e l'uso del suolo, insieme alle precipitazioni, sono i fattori che regolano l'intensità del ruscellamento superficiale e dell'erosione.

Vaste aree in cui dominano colture in asciutto, come i cereali, la vite, il mandorlo e l'olivo sono localizzate in aree collinari con suoli poco profondi molto sensibili all'erosione. Il rischio di erosione e di desertificazione per tali aree tende ad aumentare a causa della ridotta protezione da parte della copertura vegetale nei confronti dell'effetto battente della

¹¹ Attribuzioni di merito effettuate - per le aree non agricole - in base alla "Carta operativa delle aree a Rischio incendi" a cura del Corpo Forestale della Regione Siciliana. Per le aree agricole, invece, si sono utilizzate le classi della CORINE Land Cover 2006.

pioggia sul terreno, e per il ruscellamento superficiale. Le tecniche colturali adottate per molte colture agrarie, come ad esempio i vigneti, i frutteti e gli oliveti prevedono lavorazioni frequenti nell'interfila: il suolo rimane pertanto nudo per buona parte dell'anno, creando le condizioni favorevoli per il ruscellamento e all'erosione.

Prove sperimentali condotte in diverse aree del bacino del Mediterraneo caratterizzate da differenti tipi di utilizzo del suolo e di vegetazione naturale hanno mostrato come le perdite di suolo maggiori si verificano nelle aree collinari in cui domina la viticoltura. Inoltre, le aree coltivate con colture annuali come i cereali autunno-vernini (frumento, orzo, ecc.) lasciano il suolo nudo durante la stagione più piovosa (autunno) favorendo i fenomeni relativi alla perdita dei sedimenti e al degrado del suolo, specialmente con valori di precipitazione annua superiori a 380 mm (Kosmas et al., 1999). Nelle aree in cui è presente la vegetazione naturale a macchia, tipica degli ecosistemi mediterranei, si è notata (Kosmas et al., 1999) una protezione medio-alta dall'erosione che dipende dall'entità del cumulo annuale di precipitazione.

In conclusione, la migliore protezione dall'erosione è favorita in aree in cui dominano querce, olivi e conifere con sottobosco ben sviluppato, come mostrato nella seguente Tabella.

Classe	Classi Corine Land Cover	Indice
1	Boschi di Latifoglie sempreverdi, boschi misti, macchia mediterranea – sempreverdi, roccia	1,0
2	Macchia mediterranea, conifere, prati perenni, oliveti, cespuglietti, boschi di latifoglie decidue	1,3
3	Pascoli	1,6
4	Mandorleti, frutteti	1,8
5	Vigneti, orticole, colture annuali scarsamente vegetati, suoli nudi	2,0

Tabella 3-15 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per grado di Protezione dall'Erosione

La cartografia relativa è riportata nella Fig. 3-25.

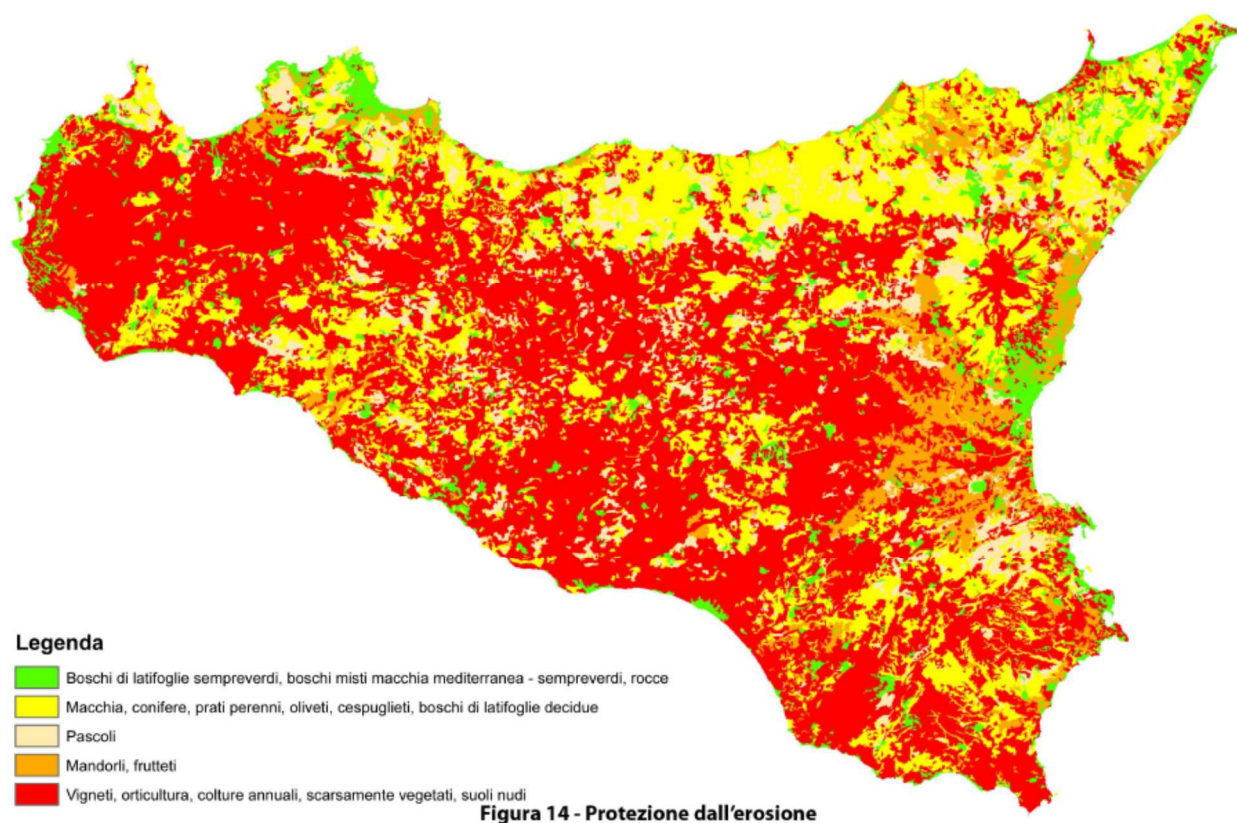


Figura 3-25 Indice di sensibilità alla desertificazione per grado di Protezione dall'Erosione.

3.3.6.3 Resistenza alla siccità

Gli ecosistemi mediterranei hanno sviluppato nel corso del tempo un'elevata resistenza alla siccità grazie a numerosi adattamenti di natura anatomica ed eco-fisiologica delle specie. Molte di esse sono in grado di resistere a condizioni di deficit idrico severe e prolungate nel tempo (piante xerofite), per cui le risposte fisiologiche della vegetazione a una graduale riduzione delle precipitazioni possono essere messe in evidenza solo dopo un numero critico di anni siccitosi.

La principale risposta da parte della pianta alla ridotta disponibilità idrica è data dalla riduzione dell'Indice di Area Fogliare (Leaf Area Index, LAI), con la conseguente riduzione dell'attività respiratoria; dal punto di vista del rischio di desertificazione, si riduce in questo modo l'azione protettiva della copertura vegetale e si intensificano i processi di erosione.

Tra le specie agrarie prevalenti in ambiente mediterraneo, l'olivo presenta una spiccata adattabilità e resistenza a periodi siccitosi anche piuttosto lunghi, mentre le specie decidue e le colture agricole annuali sono meno adatte, secondo la scala di valori esemplificata nella tabella successiva.

Classe	Classi CORINE	Indice
1	Boschi di Latifoglie sempreverdi, boschi misti, macchia mediterranea – sempreverdi, roccia e suoli nudi	1,0
2	Macchia mediterranea, conifere, oliveti, boschi di latifoglie	1,2
3	Mandorleti, vigneti	1,4
4	Prati perenni, frutteti, pascoli e cespuglieti	1,7
5	Orticolture, colture annuali scarsamente vegetati	2,0

Tabella 3-16 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Resistenza alla Siccità

La cartografia relativa è riportata nella Fig. 3-26.

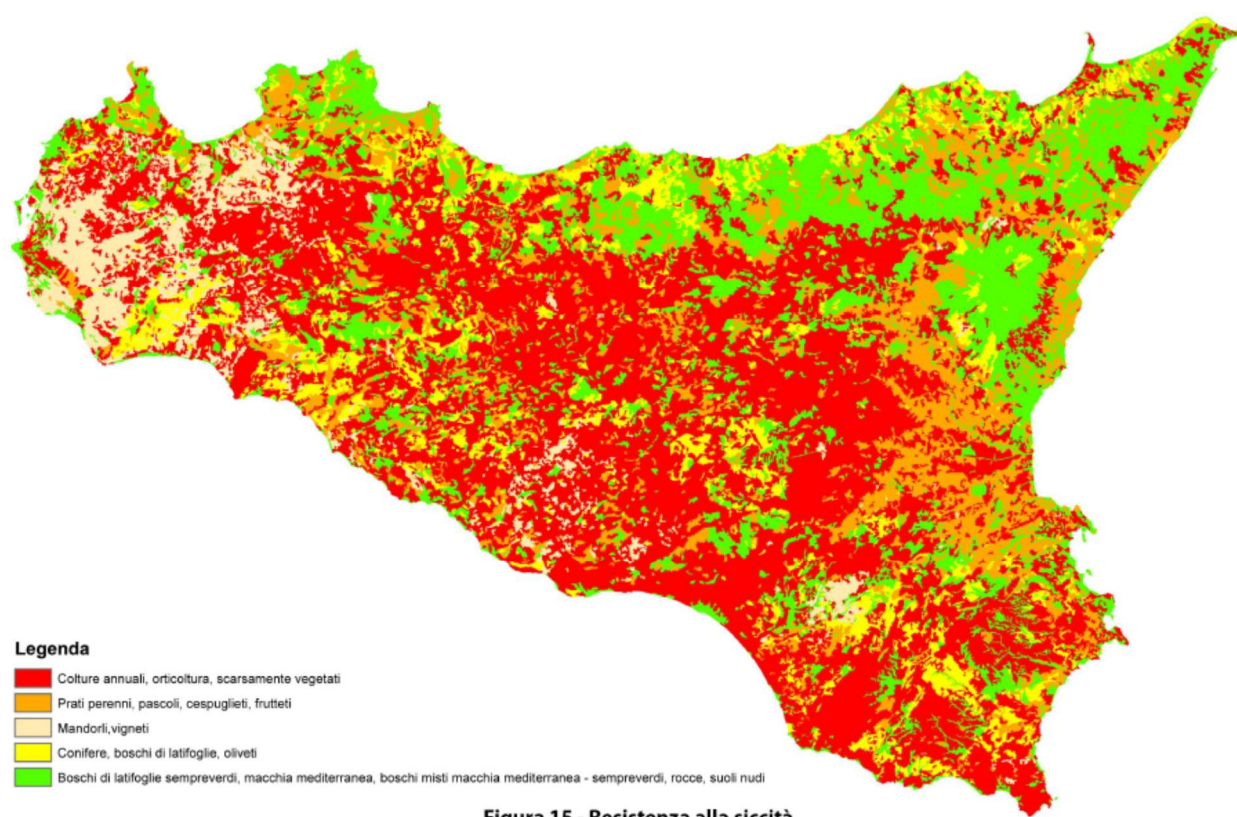


Figura 15 - Resistenza alla siccità

Figura 3-26 Indice di sensibilità alla desertificazione per Resistenza alla Siccità.

3.3.6.4 Grado di copertura vegetale

Molti studi¹² hanno dimostrato come il ruscellamento e la perdita di suolo diminuiscono notevolmente all'aumentare della percentuale di copertura del suolo da parte della vegetazione. Una porzione di territorio è considerata desertificata quando la produzione di

¹² Francis, C. F. and J. B. Thornes. 1990. "Runoff hydrographs from three Mediterranean vegetation cover types", in J. B. Thornes (ed.) Vegetation and Erosion. New York: John Wiley and Sons, pp. 364-384.

biomassa per unità di superficie si trova al di sotto di una determinata soglia. In termini di percentuale di copertura vegetale, tale soglia è stata individuata nel 40% di copertura; oltre questo valore di riferimento, in zone acclivi, si verificano condizioni di accelerata erosione.

Il valore di tale soglia può cambiare in funzione del tipo di vegetazione, dell'intensità della pioggia e delle caratteristiche del territorio, ma il degrado del terreno inizia solo quando una porzione sostanziale (circa il 40%, appunto) del terreno è spoglia. Nella tabella seguente sono presentati i valori della copertura del terreno, espressa in percentuale, e l'indice associato. La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-27.

Classe	Copertura vegetale	Indice
1	> 40%	1,0
2	Tra 40 e 10%	1,8
3	< 10%	2,0

Tabella 3-17 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Copertura Vegetale

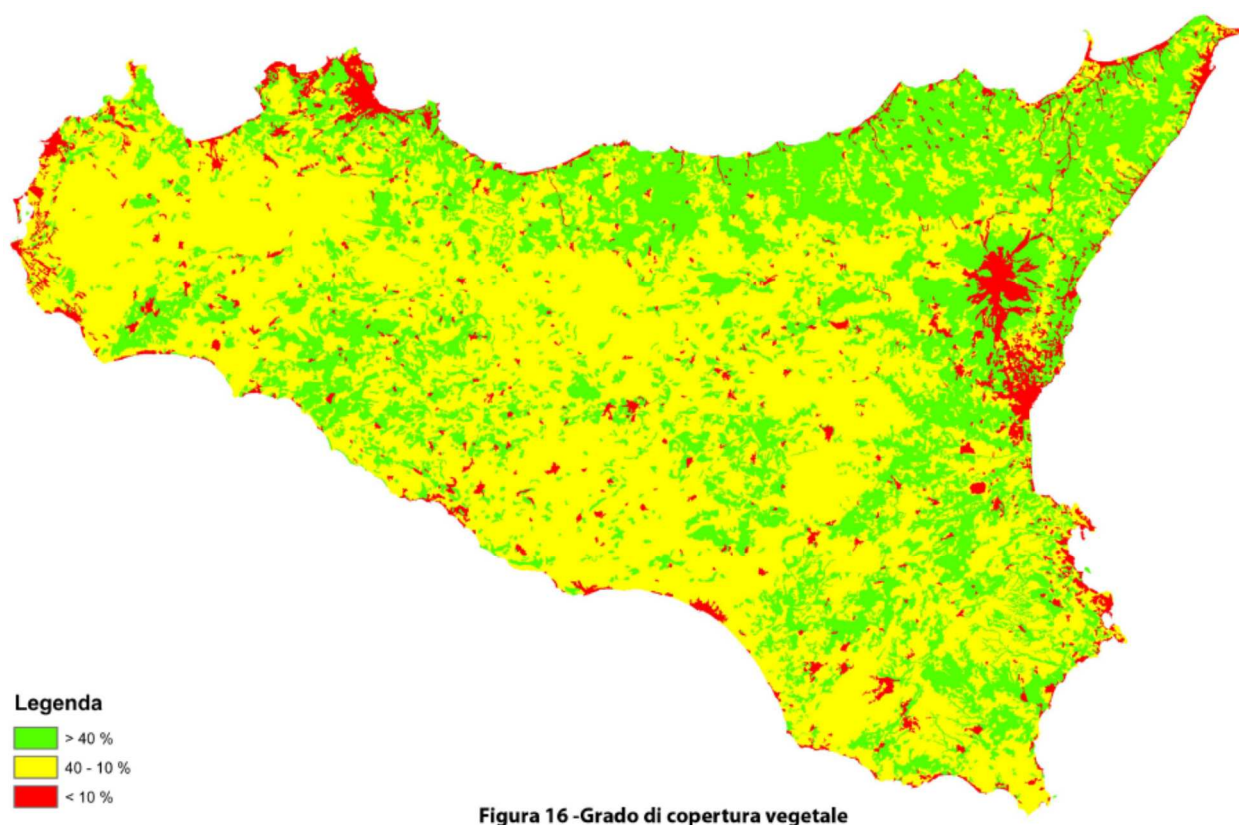


Figura 3-27 Indice di sensibilità alla desertificazione per Copertura Vegetale.

3.3.6.5 Calcolo dell'Indice di Qualità della Vegetazione (VQI)

L'Indice di Qualità della Vegetazione è stato ottenuto dalla media geometrica dei diversi indicatori che contribuiscono a definire le caratteristiche della vegetazione, attraverso la seguente relazione:

VQI = (Rischio d'incendio x Protezione dall'erosione x Resistenza all' aridità x Grado di copertura vegetale)^{1/4}

Indice di Qualità della Vegetazione	Descrizione	Range
1	Qualità Alta	<1,13
2	Qualità Media	1,13-1,38
3	Qualità Bassa	>1,38

Tabella 3-18 Valori dell'Indice di Qualità della vegetazione per desertificazione

La cartografia relativa all'Indice di Qualità della Vegetazione prodotta dalla sovrapposizione delle cartografie ancillari è riportata in Fig. 3-28.

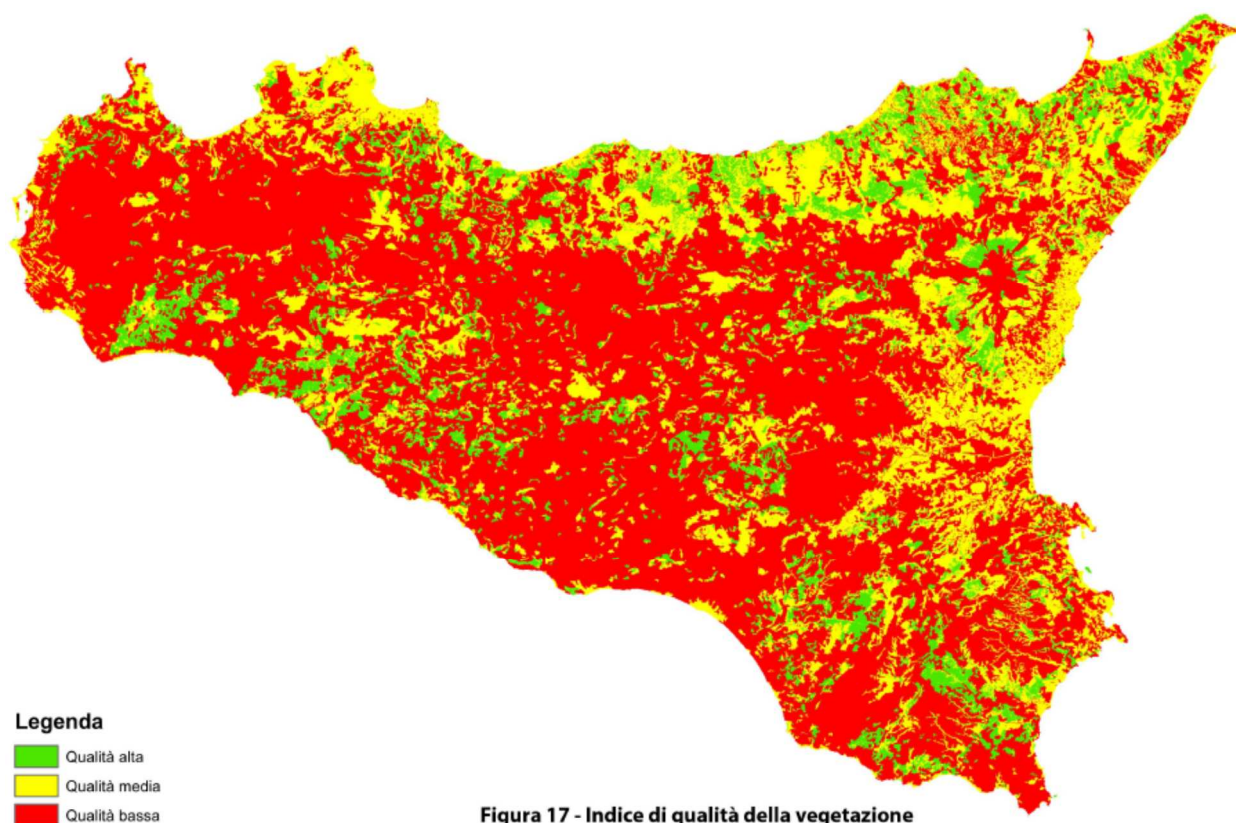


Figura 3-28. Indice di Qualità della Vegetazione per desertificazione.

3.3.7 Carta dell'Indice di Qualità della Gestione del Territorio (MQI)

L'individuazione delle aree sensibili alla desertificazione secondo il modello MEDALUS prevede anche lo studio delle pressioni di origine antropica esercitate sull'ambiente. L'utilizzo del territorio da parte dell'uomo è un aspetto fondamentale nel determinare i processi che possono portare al degrado del suolo e alla desertificazione. Il tipo di gestione dipende da un insieme di fattori di diversa natura: fattori ambientali, pedologici, climatici, ma anche sociali, economici, politici e tecnologici. Un altro aspetto particolare è il progressivo abbandono delle terre, dovuto a ragioni economiche e sociali, nonché alla maggiore produttività dell'agricoltura e al conseguente passaggio da agricoltura estensiva ad intensiva. I territori agricoli abbandonati possono essere interessati da fenomeni di deterioramento o di miglioramento delle caratteristiche del suolo a seconda del tipo particolare di suolo e delle condizioni climatiche dell'area. Le caratteristiche pedologiche delle aree collinari che possono sostenere una copertura vegetale sufficiente possono migliorare nel tempo attraverso l'accumulo di sostanza organica, l'aumento dell'attività biologica delle componenti biotiche sia animali che vegetali, il miglioramento della struttura e della permeabilità del suolo, con la conseguente riduzione del rischio di erosione (Kosmas et al., 1995). Nel caso invece di aree caratterizzate da vegetazione scarsa, i processi erosivi possono essere molto attivi e la perdita di suolo irreversibile.

Per il calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione del Territorio sono state utilizzate:

1. le informazioni provenienti dalla mappa d'uso del suolo CORINE Land Cover 2006 della Sicilia (1:100.000);
2. la delimitazione ufficiale delle aree naturali protette (parchi e riserve) e dei siti di interesse comunitario (SIC-ZPS);
3. i dati ISTAT (popolazione anni 1985 - 2008).

Il modello considera l'intensità di uso del territorio, le politiche di protezione e l'indice di pressione antropica (HPI). Gli indicatori di qualità di gestione del territorio considerati sono stati:

- Uso del Suolo
- Politiche di Protezione (aree naturali protette, vincoli ambientali)
- Densità di Popolazione
- Variazione della Densità di Popolazione (dal 1985 al 2008)

3.3.7.1 Intensità d'uso del suolo

Per quanto riguarda questo parametro si è fatto riferimento alle diverse classi di uso del suolo Corine 2006 e sono stati attribuiti i diversi valori di intensità di uso del suolo, come da seguente tabella:

Nome dell'indicatore	Classi Corine		Indice
Intensità d'uso del suolo	Bassa	Prati stabili, colture annuali, boschi di latifogli e conifere, boschi misti, macchia mediterranea, aree naturali scarsamente vegetate	1,0
	Media	Area a vegetazione boschiva ed arbustiva in evoluzione	1,2
	Alta	Colture annuali, pascoli, cespuglieti	1,5
	Elevata	Vigneti, frutteti, orticole	2,0

Tabella 3-19 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Intensità d'uso del suolo

La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-29.

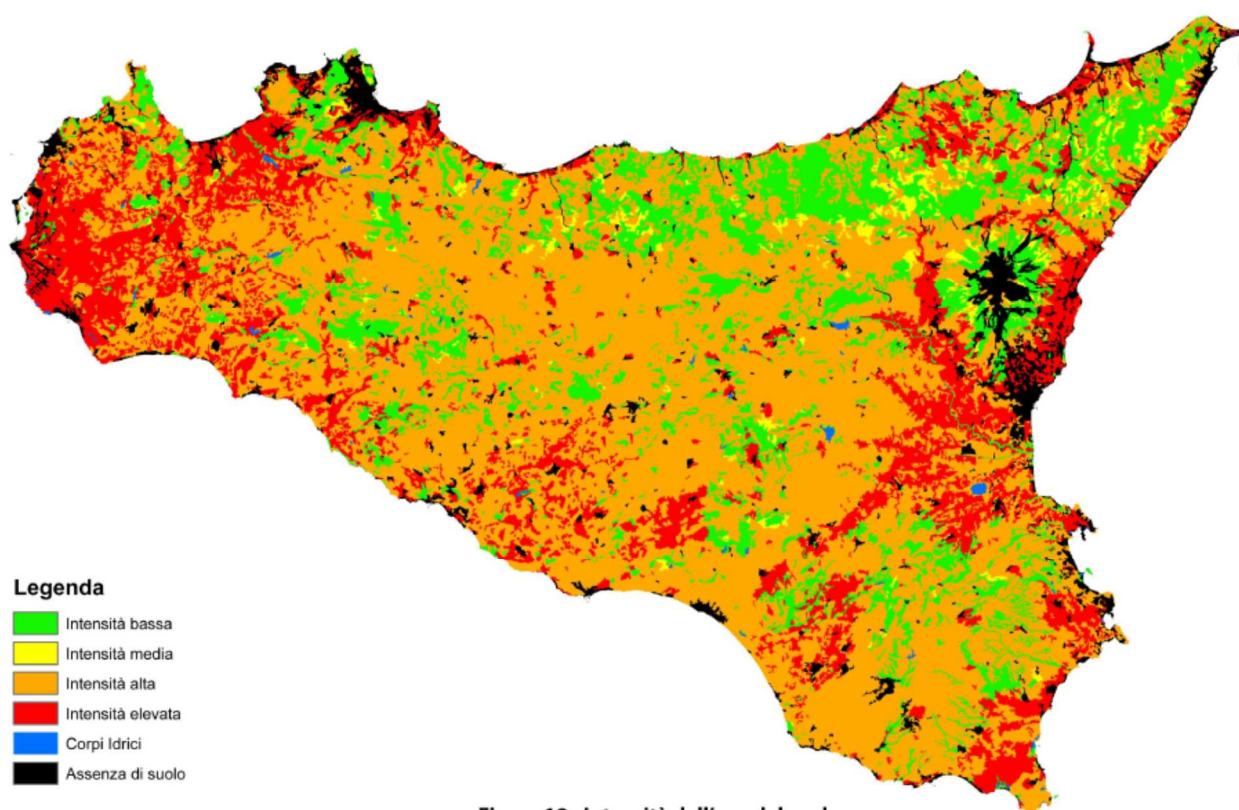


Figura 18 - Intensità dell'uso del suolo

Figura 3-29 Indice di sensibilità alla desertificazione per Uso del Suolo.

3.3.7.2 Politiche di protezione

L'indicatore relativo alle politiche di protezione dell'ambiente classifica le aree in base al grado con cui tali politiche vengono applicate in ciascuna delle aree oggetto di studio. A tale scopo, sono stati raccolti i dati cartografici relativi alle aree del territorio regionale sottoposte a varie forme di protezione, e in particolare:

- Parchi e Riserve regionali (L.R. N.14 del 1988)
- Siti SIC e ZPS (Rete Natura 2000)
- Vincolo Idrogeologico ex R.D. 3267/23

Classe	Tipo di vincolo	Indice
1	Parchi e riserve regionali e Rete Natura 2000	1,0
2	Aree sottoposte a vincolo idrogeologico	1,5
3	Senza vincoli	2,0

Tabella 3-20 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Politiche di protezione

La cartografia relativa è riportata in Fig. 3-30.

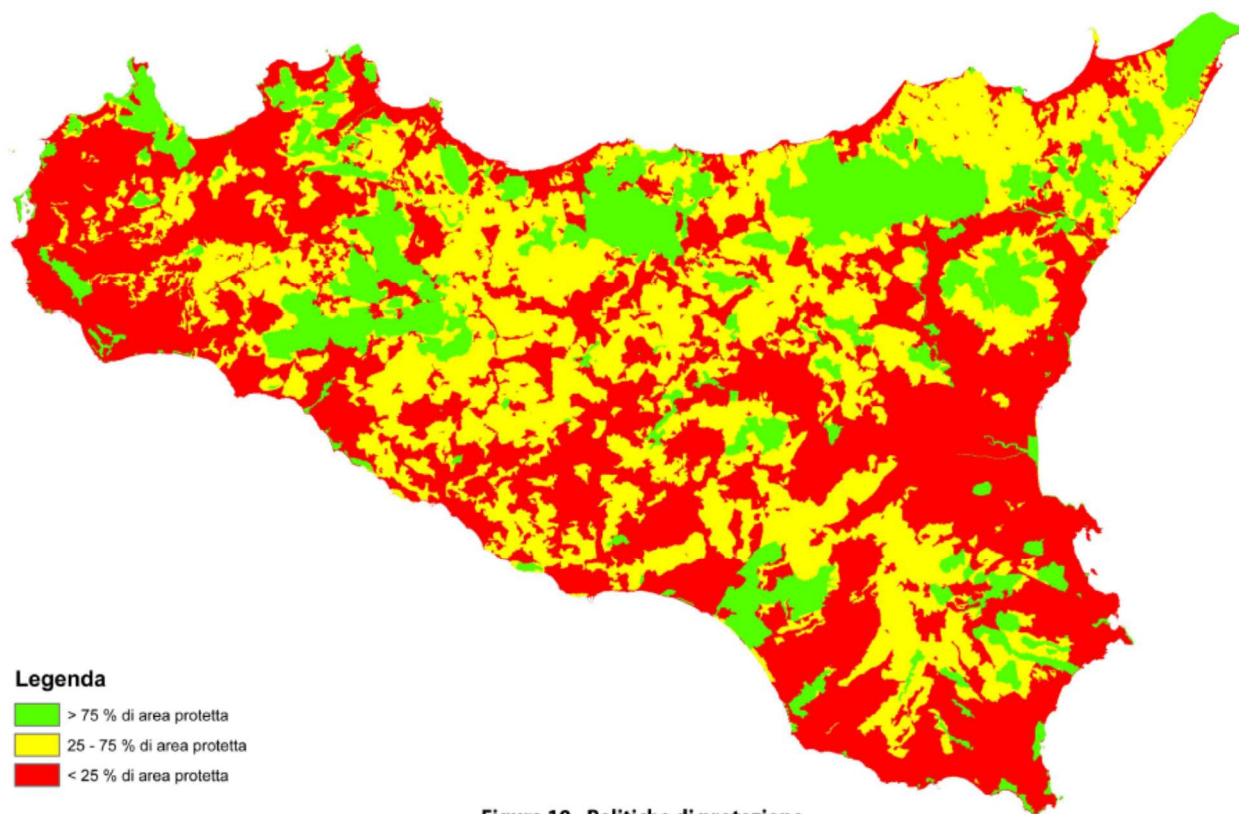


Figura 19 - Politiche di protezione

Figura 3-30 Indice di sensibilità alla desertificazione per Politiche di Protezione.

3.3.7.3 *Indice di pressione Antropica (HPI)*

La presenza dell'uomo in una determinata zona determina un fattore di pressione. Infatti, l'elevata urbanizzazione comporta cementificazione e impermeabilizzazione del suolo, nonché uno sfruttamento puntuale delle risorse idriche, sottrazione di terreno agricolo, abbandono delle campagne, ecc. Una maggiore antropizzazione di un territorio va tenuta, pertanto, nella dovuta considerazione nello studio del fenomeno della desertificazione attraverso un'attenta analisi di quelle che sono le complesse dinamiche sia strutturali che spazio-temporali della popolazione.

La metodologia utilizzata per la valutazione della pressione antropica all'interno della problematica delle aree sensibili alla desertificazione e quella del Programma Interregg IIIB Medocc Azione pilota in Toscana (2004)¹³.

La densità di popolazione, ossia il numero di abitanti per km², rappresenta una valida indicazione dei possibili squilibri causati da un'elevata concentrazione della popolazione residente relativamente allo sfruttamento delle risorse naturali. In funzione dei dati ISTAT della popolazione residente su base comunale per l'anno 2008, la densità è stata calcolata con la seguente formula:

$$\text{Densità di popolazione} = \frac{\text{Numero abitanti}}{\text{Km}^2}$$

I valori di densità ricavati sono stati aggregati in classi alle quali è stato attribuito un punteggio come da tabella seguente:

Classe Densità di Popolazione	Indice
0 - 10 ab/km ²	1,00
10 - 25 ab/km ²	1,30
25 - 50 ab/km ²	1,40
50 - 100 ab/km ²	1,50
100 - 200 ab/km ²	1,70
200 - 400 ab/km ²	1,80
400 - 800 ab/km ²	1,95
> 800 ab/km ²	2,00

¹³ Relazione finale della Regione Toscana (2004): "Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione".

Tabella 3-21 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Densità di popolazione

Maggiore è il punteggio maggiore è la sensibilità al fenomeno. Si è, quindi, proceduto alla creazione di un elaborato cartografico in ambiente GIS, sulla base della densità di popolazione riclassificata come da tabella precedente, riportato in Fig. 3-31.

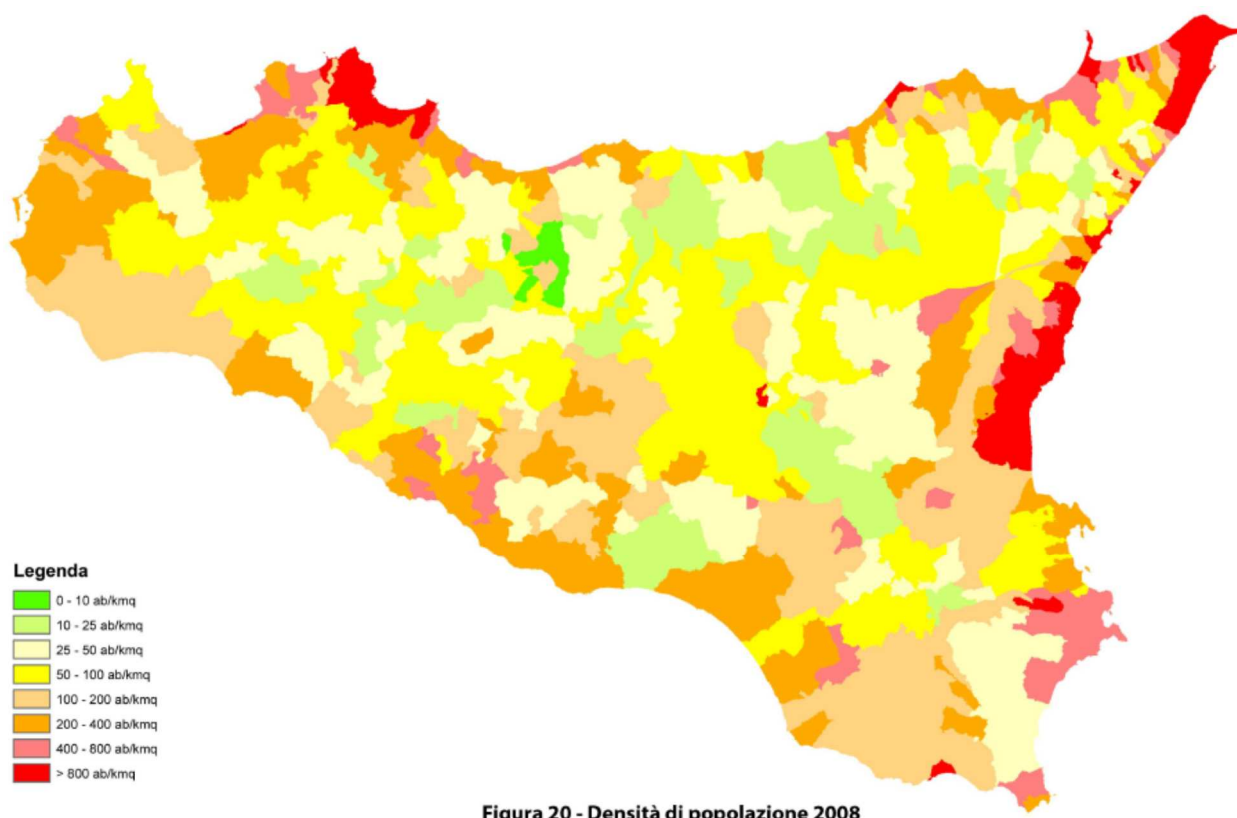


Figura 20 - Densità di popolazione 2008

Figura 3-31 Indice di sensibilità alla desertificazione per Densità di popolazione 2008.

Per quanto riguarda la variazione percentuale della densità di popolazione, essa attiene a quelle che sono le dinamiche spazio-temporali del fenomeno demografico. L'indicatore che misura la variazione percentuale della densità di popolazione è stato calcolato in funzione dei valori demografici confrontando gli anni 1985 – 2008 da fonte ISTAT:

$$\text{Variazione \% dens. popol.} = \frac{\text{dens.}_{2008} - \text{dens.}_{1985}}{\text{dens.}_{1985}} * 100$$

Eventuali valori negativi identificano una diminuzione della densità di popolazione nel periodo preso in considerazione.

Alle varie classi si sono attribuiti dei determinati valori di punteggio di sensibilità al fenomeno della desertificazione sulla base del metodo MEDALUS: maggiore è il punteggio maggiore è la sensibilità al fenomeno.

Classe Var. Densità Popolazione	Indice
-100 - 0 %	1,00
0 - 20 %	1,20
20 - 50 %	1,40
50 - 100 %	1,60
100 - 200 %	1,80
> 200 %	2,00

Tabella 3-22 Valori dell'indice di sensibilità alla desertificazione per Variazione di Densità di popolazione

Si è, quindi, proceduto alla creazione di un elaborato cartografico in ambiente GIS, sulla base della densità di popolazione riclassificata come da tabella precedente, riportato in Fig. 3-32.

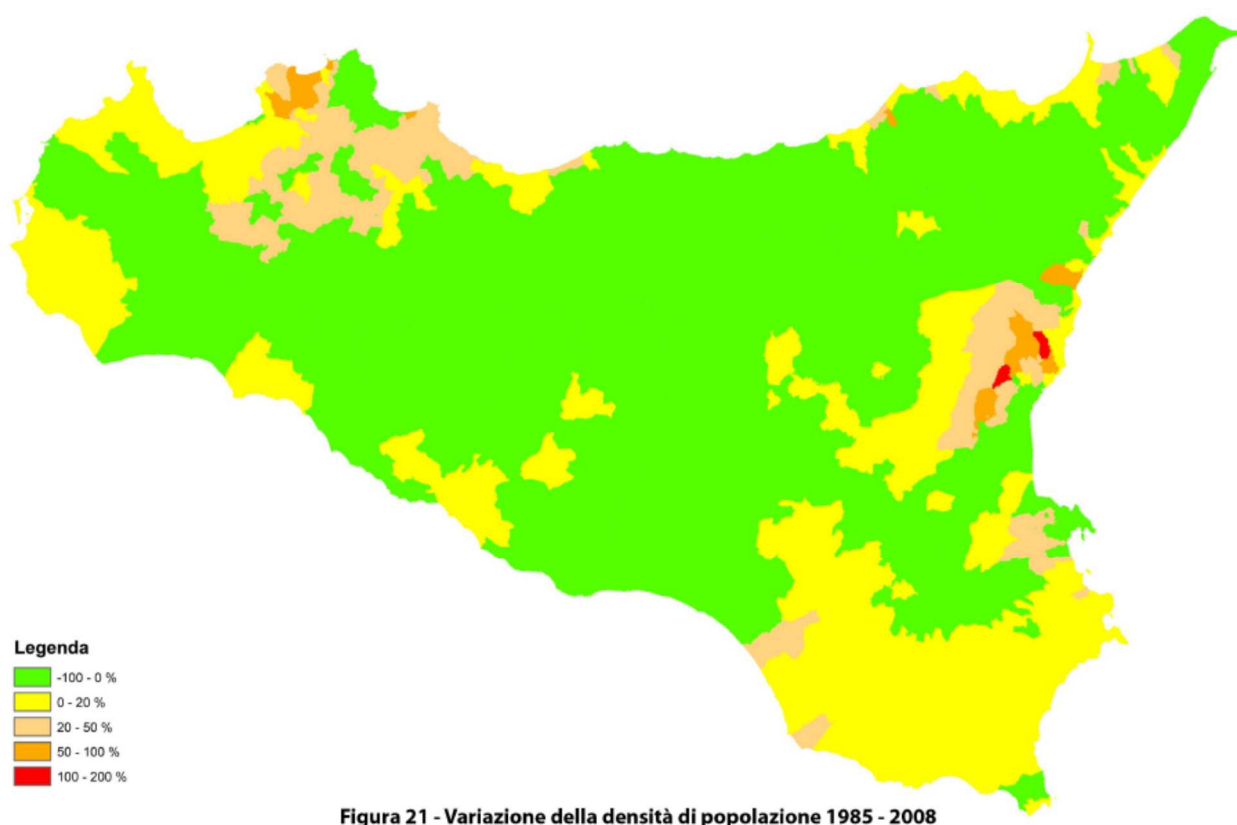


Figura 3-32 Indice di sensibilità alla desertificazione per Variazione densità di popolazione.

Infine, incrociando le mappe relative alla densità ed alla variazione di densità si ricava il complessivo indice di pressione antropica (HPI). Quest'ultimo risulterà determinato dalla media geometrica tra la densità comunale di popolazione per i comuni siciliani (dato ISTAT 2008) e la variazione di densità per gli anni 1985-2008, come da formula seguente:

$$HPI = (Dens. popol. 2008 * Var. \% dens. popol. 1985-2008)^{1/2}$$

3.3.7.4 Calcolo dell'Indice di Qualità della Gestione (MQI)

L'Indice di Qualità della Gestione è stato ottenuto dalla media geometrica dei tre indicatori che contribuiscono a definire le caratteristiche della gestione, attraverso la seguente relazione:

$$MQI = (Intensità\ d'uso \times Politiche\ di\ protezione \times Indice\ di\ pressione\ antropica)^{1/3}$$

Indice di Qualità della Gestione	Descrizione	Range
1	Qualità alta	<1,25
2	Qualità media	1,25-1,50
3	Qualità bassa	>1,50

Tabella3-23: Classi dell'Indice di Qualità della Gestione (MQI) per desertificazione

La cartografia relativa all'Indicatore dell'Indice di Qualità della Gestione, prodotta dalla sovrapposizione delle carte ancillari pertinenti, è riportata in Fig. 3-33.

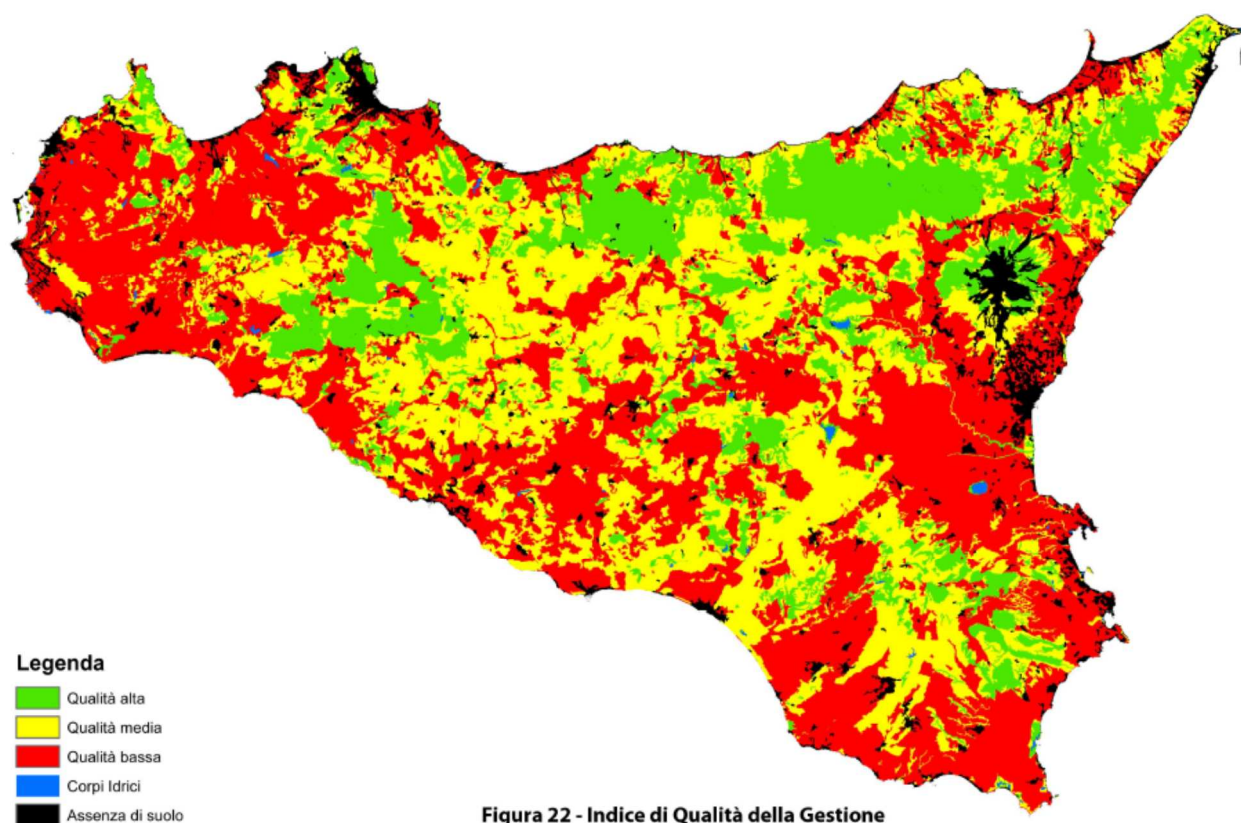


Figura 3-33 Indice di Qualità della Gestione per desertificazione.

3.3.8 Calcolo dell'Indice delle Aree Sensibili alla desertificazione (ESAI)

Il risultato finale dell'applicazione della metodologia è l'ottenimento di un indice riassuntivo, dato dalla combinazione degli indici di qualità ambientale (suolo, clima, vegetazione) e dell'indice di qualità della gestione, di sensibilità delle aree ESAs alla desertificazione. La tecnologia GIS ha consentito di calcolare, sotto forma di carta tematica, la media geometrica dei quattro indicatori, intesi come strati informativi:

$$ESAI = (SQI * CQI * VQI * MQI)^{1/4}$$

L'indice finale ESAI individua le aree con crescente sensibilità alla desertificazione secondo il seguente schema, in cui sono riportati i differenti valori che tale indice può assumere:









VALORE ESAI	CLASSE	CARATTERISTICHE
ESAI<1,17	 Non affetto	Aree non soggette e non sensibili
1,17<ESAI<1,225	 Potenziale	Aree a rischio di desertificazione qualora si verificassero condizioni climatiche estreme o drastici cambiamenti nell'uso del suolo.
1,225<ESAI<1,265	 Fragile 1	Aree limite, in cui qualsiasi alterazione degli equilibri tra risorse ambientali e attività umane può portare alla progressiva desertificazione del territorio.
1,265<ESAI<1,325	 Fragile 2	
1,325<ESAI<1,375	 Fragile 3	
1,375<ESAI<1,415	 Critico 1	Aree già altamente degradate caratterizzate da ingenti perdite di materiale sedimentario dovuto o al cattivo uso del terreno e/o ad evidenti fenomeni di erosione
1,415<ESAI<1,530	 Critico 2	
ESAI<1,530	 Critico 3	

Tabella 3-24 Classi dell'indice di sensibilità ambientale alla desertificazione (ESAI).

In particolare, Kosmas et al., (1999) definiscono come:

- **Aree (ESAs) potenziali:** *aree minacciate dalla desertificazione. Sono quelle aree soggette ad un significativo cambiamento climatico; se una particolare utilizzazione del suolo è praticata con criteri gestionali non corretti si potranno creare seri problemi, per esempio lo scorrimento dei pesticidi lungo le pendici e*

deposito a valle dei principi attivi nocivi alla vegetazione. Si tratta per lo più di aree marginali abbandonate non gestite in modo appropriato. Questo tipo è meno severo del successivo, ma ciò nonostante è necessario attuare una pianificazione territoriale corretta.

- **Aree (ESAs) fragili:** *aree dove qualsiasi cambiamento del delicato equilibrio dei fattori naturali o delle attività umane molto probabilmente porterà alla desertificazione. Per esempio, l'impatto del previsto cambiamento climatico causato dall'effetto serra probabilmente determinerà una riduzione del potenziale biologico causata dalla siccità, provocando la perdita della copertura vegetale in molte aree, che saranno soggette ad una maggiore erosione, e diventeranno aree critiche.*
- **Aree (ESAs) critiche:** *aree già altamente degradate a causa del cattivo uso del terreno, che presenta una minaccia all'ambiente delle aree circostanti. Per esempio, aree molto erose soggette ad un alto deflusso e perdita di sedimenti.*

La cartografia relativa all'Indice delle Aree Sensibili alla Desertificazione è riportata in Fig. 3-34.

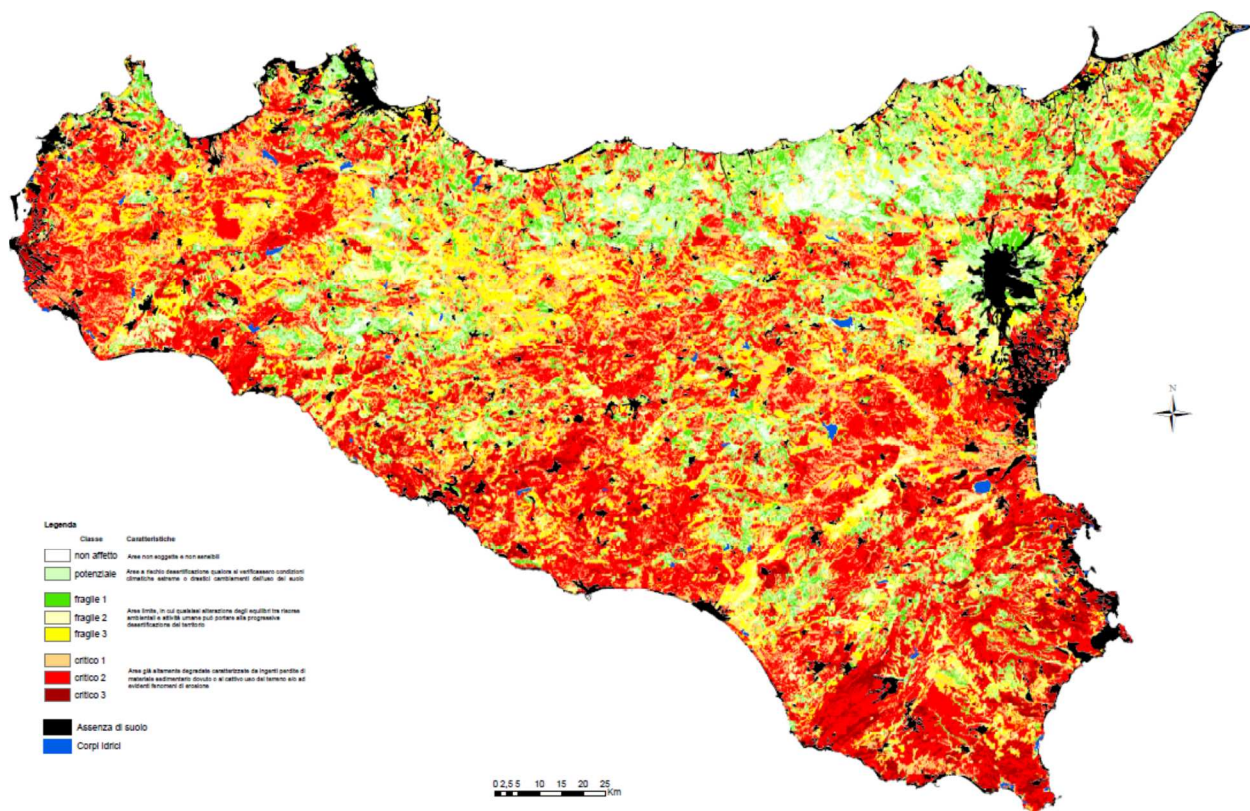


Figura 3-34 Carta delle Aree Sensibili alla Desertificazione.

3.3.9 Sintesi dell'analisi di sensitività alla desertificazione

La rappresentazione cartografica dell'applicazione della metodologia MEDALUS al territorio siciliano ha evidenziato una diffusa sensibilità al degrado del territorio come specificatamente qui di seguito riportato:

Le aree critiche rappresentano il 56,7% dell'intero territorio, che si possono suddividere tra le aree meno critiche, *aree "C1"* 17,7%, e quelle a maggiore criticità, *aree critiche "C2"* 35,0%. Le aree a criticità "C3", le più critiche, ammontano al 4,0% dell'intera superficie dell'Isola.

Le aree fragili, quelle in cui qualsiasi alterazione del delicato equilibrio tra fattori naturali e le attività umane può portare alla desertificazione, rappresentano una quota pari al 35,8% del totale, che si può anche distinguere tra le aree meno fragili "*F1*" 7,0%, e quelle a maggiore fragilità, *aree fragili "F2"* 12,8%. Le aree a fragilità "*F3*" raggiungono il 16,0% dell'intera superficie.

Solo il 5,8% e l'1,8% delle aree della Sicilia presenta una sensibilità potenziale o nulla alla desertificazione.

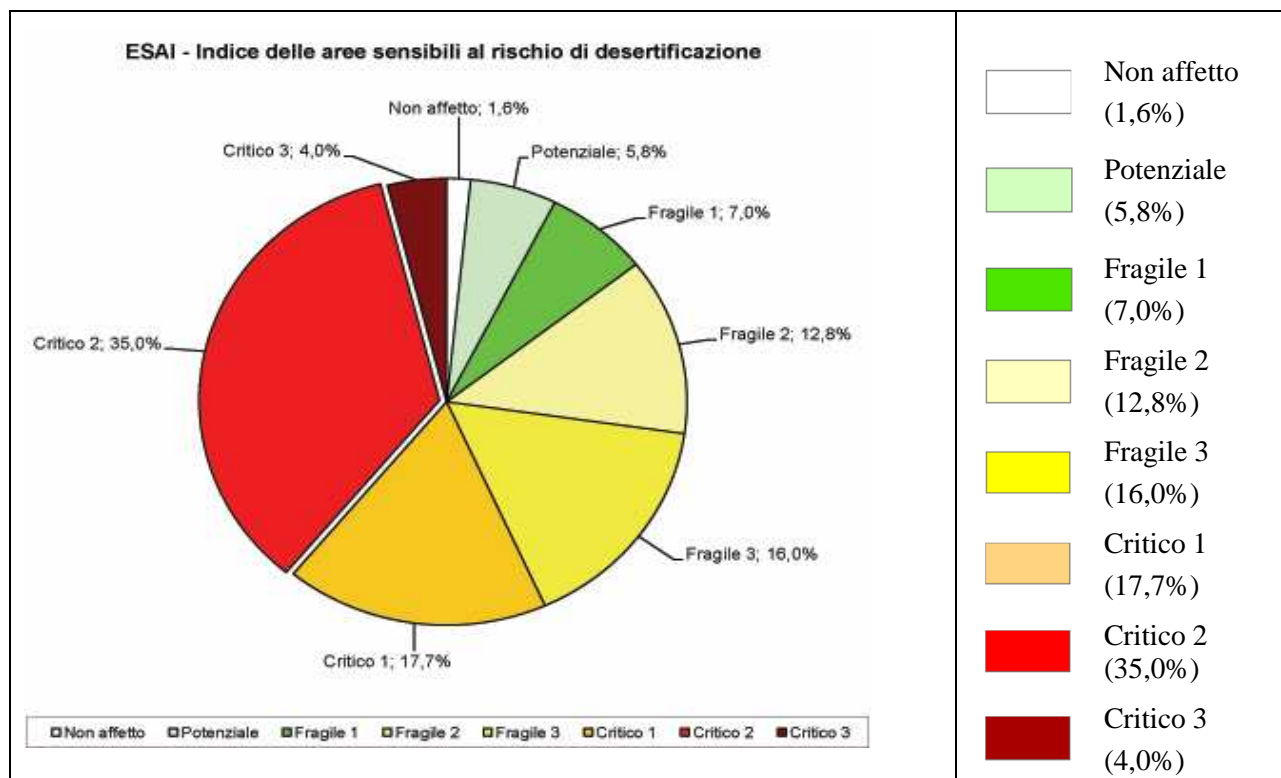


Figura 3-35 Distribuzione % delle Aree Sensibili alla Desertificazione in Sicilia.

A differenza delle precedenti cartografie realizzate, quest'ultima utilizza un numero maggiore di indicatori tra i quali alcuni sono considerati per la prima volta, altri risultano sostituiti (ad es. la piovosità con la stagionalità delle precipitazioni, ecc.).

Il database a supporto dell'analisi cartografica è stato integrato da numerosi e dettagliati dati aggiornati, soprattutto per la componente suolo e vegetazione.

La Carta delle Aree Sensibili alla Desertificazione è stata realizzata con la partecipazione di più unità operative dell'Amministrazione Regionale, risultando quindi, un primo momento di confronto multidisciplinare nell'ambito dei Dipartimenti Regionali competenti per i differenti settori maggiormente coinvolti nel fenomeno della desertificazione.

Per la tipologia dei dati utilizzati, per la scala di elaborazione e per il tipo d'informazione che fornisce, la carta possiede le caratteristiche per essere utilizzata soprattutto ai fini della definizione delle politiche d'indirizzo nella pianificazione regionale di uso del territorio.

Allo stato attuale delle conoscenze, in relazione alla metodologia utilizzata e alla tipologia dei dati (relativi soprattutto ad aspetti qualitativi del territorio), la carta non identifica necessariamente fenomeni di degrado in atto per le aree classificate critiche. Pertanto, nelle fasi di approfondimento, sarà necessario passare da una rappresentazione "potenziale" dei processi di degrado ad una nella quale questi vengono individuati, classificati e presi in considerazione al fine di calibrare correttamente i parametri utilizzati.

4 La strategia Regionale

4.1 Gli Obiettivi della strategia

L'obiettivo generale della strategia è la definizione di un modello di governance unitario basato su approcci multisettoriali e multilivello che assicuri un quadro di orientamento e riferimento delle politiche settoriali e territoriali e della pianificazione e programmazione con riferimento particolare ai settori prioritari del comparto agricolo, forestale, delle risorse idriche, dell'assetto del territorio e dei rischi idrogeologici.

Gli obiettivi specifici traguardati dalla strategia sono di seguito indicati:

- Valorizzare e potenziare l'implementazione delle azioni già previste nei piani e programmi regionali esistenti;
- individuare ulteriori misure e azioni da integrare nei piani esistenti;
- coordinare le azioni intersettoriali e trasversali delle amministrazioni regionali e locali competenti;
- promuovere l'aggiornamento delle conoscenze e degli studi sulla vulnerabilità;
- implementare una rete di monitoraggio dei fenomeni anche con finalità di *early warning* e di supporto alle decisioni;
- individuare e promuovere percorsi partecipativi di sensibilizzazione e di coinvolgimento degli stakeholder locali.

La strategia persegue altresì l'integrazione orizzontale degli strumenti pianificazione e programmazione regionali e l'integrazione verticale degli obiettivi nella pianificazione locale e comunale.

4.2 Le azioni regionali

Sono state individuate le possibili azioni che consentono l'attuazione della strategia.

Le azioni sono state definite sulla scorta di quanto definito nel Piano di Azione Nazionale di lotta alla siccità e alla desertificazione (PAN) e dalla strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici.

Nell'individuazione delle azioni si è altresì tenuto conto degli obiettivi ambientali dell'Agenda 2030 dell'ONU e della strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile.

Le linee guida del PAN in ambito nazionale hanno individuato quattro campi di azione:

- 1) Protezione del suolo

- 2) Gestione sostenibile delle risorse idriche
- 3) Riduzione di impatto delle attività produttive
- 4) Riequilibrio del territorio

La protezione del suolo secondo il PAN interessa, in particolare:

- le aree agricole a produzione intensiva e marginali;
- le aree a rischio di erosione accelerata;
- le zone degradate da contaminazione, inquinamento, incendi;
- le aree incolte e abbandonate.

Le aree soggette alla desertificazione sono quelle che associano caratteristiche sfavorevoli di suolo a condizioni di bilancio idrico negativo per lunghi periodi dell'anno, con scarse ed irregolari precipitazioni e forte insolazione ed evapotraspirazione. L'evoluzione del clima e le attività antropiche stanno progressivamente riducendo la disponibilità e la qualità della risorsa idrica in molte aree. Anche in quelle aree dove non vi è complessivamente scarsità della risorsa si registra un sensibile divario tra domanda e offerta d'acqua, soprattutto per gli usi civili. In queste condizioni la corretta gestione della risorsa riveste un'importanza primaria.

E' altresì necessario assicurare la riduzione dell'impatto delle attività antropiche che, se condotte in modo non sostenibile con la conservazione delle risorse, possono accelerare i processi di degrado del territorio e di desertificazione.

Da ultimo, secondo il Piano Nazionale è essenziale operare il riequilibrio del territorio, recuperando il valore produttivo, paesaggistico e naturalistico di zone attualmente compromesse da un'eccessiva concentrazione di attività antropiche o dall'abbandono delle aree marginali.

Secondo la strategia nazionale di adattamento ai cambiamenti climatici, il degrado del territorio e la desertificazione sono processi che risultano per effetto dell'interazione tra i cambiamenti climatici e il sovrasfruttamento delle risorse naturali, del suolo, dell'acqua e della vegetazione da parte dell'uomo. I cambiamenti climatici, come prefigurati dagli scenari considerati, determineranno l'aggravarsi dell'azione dei processi di erosione, della salinizzazione e della perdita di sostanza organica dei suoli. La siccità accrescerà il rischio di incendi e di stress idrico con effetti sia nelle zone umide, che in quelle secche sommandosi talora anche a eventi e/o situazioni di carenza idrica.

La strategia nazionale individua per il settore desertificazione un primo elenco generale di azioni tra cui scegliere quelle più adatte in ambito locale in relazione alle caratteristiche del territorio.

Le misure sono distinte in:

- azioni non strutturali o “soft”;
- azioni basate su un approccio ecosistemico o “verdi”;
- azioni di tipo infrastrutturale e tecnologico o “grigie”.

La strategia inoltre, per tenere conto delle incertezze legate all’evoluzione dei fenomeni e dei cambiamenti climatici, indirizza verso un approccio adattativo, ossia modificabile via via che le conoscenze migliorano, e robusto, cioè efficace rispetto più ampio insieme di scenari evolutivi, privilegiando misure no regret e misure win – win.

Le azioni sono state definite tenendo a riferimento gli obiettivi di sviluppo sostenibile definiti dalla risoluzione ONU 25 settembre 2015 “ Trasformiamo il nostro mondo: l’Agenda 2030 per lo sviluppo sostenibile”.

Agenda 2030 è un programma di azione per le persone il pianeta e la prosperità. Che individua 17 obiettivi per lo sviluppo sostenibile articolati in 169 subobiettivi di tipo economico, ambientale, sociale e istituzionale che dovranno essere raggiunti da tutti i Paesi del mondo entro il 2030. L’Agenda 2030 sottolinea la necessità di una visione integrata delle varie dimensioni dello sviluppo, economico, della tutela dell’ambiente e dei diritti umani e sociali.

Le azioni che derivano dall’implementazione dell’Agenda sono rivolte ad arrestare la perdita di biodiversità, tutelare le risorse e i servizi ambientali e contrastare e mitigare gli effetti del cambiamento climatico, allo scopo di salvaguardare e migliorare lo stato di conservazione di specie e habitat per gli ecosistemi, terrestri e acquatici. Ulteriori campi d’azione discendenti dall’Agenda e che sono connessi alla lotta alla desertificazione sono di seguito indicati:

- Aumentare la superficie protetta terrestre e marina e assicurare l’efficacia della gestione.
- Proteggere e ripristinare le risorse genetiche e gli ecosistemi naturali connessi ad agricoltura, silvicoltura e acquacoltura.
- Integrare il valore del capitale naturale (degli ecosistemi e della biodiversità) nei piani, nelle politiche e nei sistemi di contabilità.
- Arrestare il consumo del suolo e combattere la desertificazione.

- Minimizzare i carichi inquinanti nei suoli, nei corpi idrici e nelle falde acquifere, tenendo in considerazione i livelli di buono stato ecologico dei sistemi naturali.
- Attuare la gestione integrata delle risorse idriche a tutti i livelli di pianificazione.
- Massimizzare l'efficienza idrica e adeguare i prelievi alla scarsità d'acqua.
- Garantire la gestione sostenibile delle foreste e combatterne l'abbandono e il degrado.
- Garantire la governance e l'accesso alla terra, all'acqua, alle risorse naturali e produttive da parte delle famiglie di agricoltori e piccoli produttori.
- Sostenere e sviluppare tecniche tradizionali di adattamento a fattori biotici e abiotici.
- Rafforzare le capacità di far fronte a disastri naturali anche promuovendo le "infrastrutture verdi". Incentivare politiche agricole, ambientali e sociali favorevoli all'agricoltura familiare e alla pesca artigianale.
- Favorire l'adozione di misure che favoriscono la competitività sul mercato di prodotti in linea con i principi di sostenibilità delle diete alimentari.
- Promuovere interventi nel campo della riforestazione, dell'ammodernamento sostenibile delle aree urbane, della tutela delle aree terrestri e marine protette, delle zone umide, e dei bacini fluviali, della gestione sostenibile della pesca, del recupero delle terre e suoli, specie tramite la rivitalizzazione della piccola agricoltura familiare sostenibile.
- Contribuire alla resilienza e alla gestione dei nuovi rischi ambientali nelle regioni più deboli ed esposte.
- Assicurare la definizione e la continuità di gestione di sistemi integrati per il monitoraggio e la valutazione di politiche, piani e progetti.
- Trasferimento di tecnologia, attraverso qualificati interventi di assistenza tecnica, formazione e capacity building istituzionale.
- attività volte all'educazione e alla formazione, al rafforzamento delle capacità istituzionali, al trasferimento di know how, tecnologia, innovazione, intervenendo a protezione del patrimonio anche in situazioni di crisi post conflitto e calamità naturali.

Gli obiettivi di Agenda 2030 considerati dalla strategia regionale sono di seguito indicati:

- *Obiettivo 2. Porre fine alla fame, raggiungere la sicurezza alimentare, migliorare la nutrizione e promuovere un'agricoltura sostenibile*

o 2.4 Entro il 2030, garantire sistemi di produzione alimentare sostenibili e implementare pratiche agricole resilienti che aumentino la produttività e la produzione, che aiutino a proteggere gli ecosistemi, che rafforzino la capacità di adattamento ai cambiamenti climatici, a condizioni meteorologiche estreme, siccità, inondazioni e altri disastri e che migliorino progressivamente la qualità del suolo

• *Obiettivo 6. Garantire a tutti la disponibilità e la gestione sostenibile dell'acqua e delle strutture igienico-sanitarie*

o 6.4 Aumentare considerevolmente entro il 2030 l'efficienza nell'utilizzo dell'acqua in ogni settore e garantire approvvigionamenti e forniture sostenibili di acqua potabile, per affrontare la carenza idrica e ridurre in modo sostanzioso il numero di persone che ne subisce le conseguenze

• *Obiettivo 13. Promuovere azioni, a tutti i livelli, per combattere il cambiamento climatico*

o 13.2 Integrare le misure di cambiamento climatico nelle politiche, strategie e pianificazione nazionali

• *Obiettivo 15. Proteggere, ripristinare e favorire un uso sostenibile dell'ecosistema terrestre, gestire sostenibilmente le foreste, contrastare la desertificazione, arrestare e far retrocedere il degrado del terreno e fermare la perdita di diversità biologica*

o 15.2 Entro il 2020, promuovere una gestione sostenibile di tutti i tipi di foreste, arrestare la deforestazione, ripristinare le foreste degradate e aumentare ovunque, in modo significativo, la riforestazione e il rimboschimento

o 15.3 Entro il 2030, combattere la desertificazione, ripristinare le terre degradate, comprese quelle colpite da desertificazione, siccità e inondazioni, e battersi per ottenere un mondo privo di degrado del suolo

o 15.4 Entro il 2030, garantire la conservazione degli ecosistemi montuosi, incluse le loro biodiversità, al fine di migliorarne la capacità di produrre benefici essenziali per uno sviluppo sostenibile

o 15.5 Intraprendere azioni efficaci ed immediate per ridurre il degrado degli ambienti naturali, arrestare la distruzione della biodiversità e, entro il 2020, proteggere le specie a rischio di estinzione

La strategia Regionale risulta, altresì, allineata alla strategia nazionale per lo sviluppo sostenibile e in particolare ai seguenti obiettivi strategici afferenti alla scelta di “II Garantire una gestione sostenibile delle risorse naturali”:

II.2 Arrestare il consumo del suolo e combattere la desertificazione

II.4 Attuare la gestione integrata delle risorse idriche a tutti i livelli di pianificazione

II.5 Massimizzare l'efficienza idrica e adeguare i prelievi alla scarsità d'acqua

II.7 Garantire la gestione sostenibile delle foreste e combatterne l'abbandono e il degrado

Da ultimo nello sviluppo della strategia si considerata la coerenza con gli obiettivi del VII Programma d'azione ambientale europeo (2014 – 2020) che, al fine di proteggere, conservare e migliorare il capitale naturale dell'Unione, stabilisce che entro il 2020:

a) la perdita di biodiversità e il degrado dei servizi ecosistemici, compresa l'impollinazione, siano stati debellati, gli ecosistemi e i relativi servizi siano preservati e almeno il 15 % degli ecosistemi degradati sia stato ripristinato;

b) l'impatto delle pressioni sulle acque di transizione, costiere e dolci (comprese le acque di superficie e le acque sotterranee) sia considerevolmente ridotto per raggiungere, preservare o migliorare il buono stato, così come definito nella direttiva quadro sulle acque;

c) l'impatto delle pressioni sulle acque marine sia ridotto per raggiungere o preservare il buono stato, così come richiesto dalla direttiva quadro sulla strategia per l'ambiente marino, e le zone costiere siano gestite in modo sostenibile;

d) l'inquinamento atmosferico e i suoi impatti sugli ecosistemi e la biodiversità siano ulteriormente ridotti con l'obiettivo di lungo termine di non superare carichi e livelli critici;

e) i terreni siano gestiti in maniera sostenibile all'interno dell'Unione, il suolo sia adeguatamente protetto e la bonifica dei siti contaminati sia ben avviata;

f) il ciclo dei nutrienti (azoto e fosforo) sia gestito in maniera più sostenibile ed efficiente nell'impiego delle risorse;

g) la gestione delle foreste sia sostenibile, le foreste, la loro biodiversità e i servizi che offrono siano protetti e rafforzati nei limiti del fattibile, e la resilienza delle foreste verso i cambiamenti climatici, gli incendi, le tempeste, le infestazioni di parassiti e le malattie sia migliorata

L'indicazione da recepire nella strategia al di là dei meri obiettivi ambientali è la riduzione dell'impatto delle pressioni antropiche e di una gestione proattiva attraverso l'introduzione di tecniche produttive ecosostenibili.

A tal riguardo un ruolo primario riveste il comparto agricolo.

Le attività agricole e zootecniche rivestono un ruolo centrale nella lotta alla desertificazione, innanzitutto per l'ampiezza delle superfici interessate da tali attività, superiori a quelle di qualsiasi altra attività antropica, tanto che la SAU (Superficie Agricola Utilizzata) della Sicilia copre circa il 54% dell'intera superficie regionale.

La centralità di agricoltura e zootecnia scaturisce anche dal duplice effetto che tali attività possono determinare sui processi di desertificazione, ostacolando o favorendo a seconda delle modalità con cui il suolo ed i fattori della produzione vengono gestiti.

Se da un lato agricoltura e zootecnia talvolta vengono visti come tra le maggiori cause dei processi di desertificazione, l'abbandono dei terreni e la cessazione di attività agricole e zootecniche costituiscono una minaccia ancora maggiore, esponendo le aree rurali a processi di degrado dei suoli peggiori di qualsiasi impatto negativo delle attività antropiche condotte su di essi.

La lotta alla desertificazione deve pertanto passare inevitabilmente attraverso le attività agricole e zootecniche, limitando gli impatti potenzialmente negativi di tali attività ed esaltandone invece il ruolo di protezione e di miglioramento della fertilità dei suoli.

Ogni scelta di gestione del suolo e delle attività agricole comporta pertanto l'assunzione di un rischio e l'identificazione delle soluzioni più idonee in base a scenari complessi, il cui evolversi va costantemente monitorato così da poter rimodulare le scelte operative e culturali in base all'effettivo impatto ottenuto dalle scelte precedenti.

Il quadro normativo istituzionale sopra descritto ha condotto all'individuazione delle azioni di seguito riportate nelle schede descrittive.

Il Sistema di azioni definito evidenzia l'elevato numero di assessorati regionali che sono competenti in materia di desertificazione.

Al fine pertanto di dare effettiva attuazione della strategia è necessario il coinvolgimento nel processo di integrazione tutti i vari e diversi settori. In modo da dispiegare una politica regionale coordinata e completa che faccia capo all'Amministrazione regionale

il modello organizzativo individua, in linea alle competenze attribuite alla stessa dalla l.r. 8/2018 e dal D.P 4/2019, l'autorità di Bacino del distretto idrografico il compito di coordinare le azioni di lotta alla desertificazione con il supporto di un gruppo di lavoro interassessoriale comprendente i Dirigenti generali dei Dipartimenti regionali, o rappresentanti degli stessi muniti di poteri decisionali, interessati all'attuazione al fine di svolgere le funzioni di coordinamento tecnico e di supporto operativo alle strutture regionali e locali.

Nell'ambito del Gruppo di lavoro potranno essere costituiti tavoli e gruppi di lavoro tematici che coinvolgeranno anche il sistema agenziale e degli enti regionali, nonché il mondo accademico e della ricerca. Resta altresì impregiudicata la facoltà di avvalersi del Comitato tecnico scientifico istituito dall'art 3 della l.r. 8/2018 nel rispetto di quanto dalla stessa stabilito.

Lo sviluppo della strategia deve necessariamente comprendere il coinvolgimento degli attori sociali direttamente interessati.

A partire dalla mappatura degli stakeholder, di volta in volta dovranno essere coinvolti gli attori sociali di riferimento rispetto al settore in questione.

Le modalità di coinvolgimento verranno valutate rispetto ai casi specifici, sviluppando le modalità più appropriate (indagini specifiche con questionario o interviste semi-strutturate, focus group, workshop partecipativi, laboratori gestiti con metodologie afferenti alla progettazione partecipata, ecc).

Il coinvolgimento potrà essere altresì garantito anche nell'ambito dei processi di partecipazione pubblica attivati per altri strumenti di Pianificazione e programmazione.

Le attività di coinvolgimento degli stakeholder perseguirà gli obiettivi di:

- ricostruire il quadro conoscitivo dei problemi per comparto, a partire dalle voci e punti di vista degli attori locali e degli stakeholder, inclusi i decisori politici;
- valutare le modalità più efficaci per l'attuazione delle misure in relazione alle peculiarità delle realtà locali e del contesto economico e produttivo

L'autorità di Bacino con il supporto del gruppo di lavoro interassessoriale definirà un primo piano di comunicazione e di partecipazione.

Titolo azione	Miglioramento della conoscenza dei fenomeni	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo	
Tipologia azione	Non strutturale soft,	
Obiettivi Agenda 2030	15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Definizione di piani di monitoraggio del suolo e del territorio per la definizione di fattori di vulnerabilità del territorio individuare programmi di studio e ricerca, potenziare le attività conoscitive dei fenomeni e realizzare un sistema di monitoraggio con finalità di <i>early warning</i> e di supporto alle decisioni	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB) con la collaborazione delle Università e degli Istituti di Ricerca.		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Breve termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Definizione di opportuni sistemi per l'organizzazione e la diffusione delle conoscenze approfondite sul fenomeno della desertificazione	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo risorse idriche	
Tipologia azione	Non strutturale soft	
Obiettivi Agenda 2030	15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	definizione e implementazione di un sistema informativo per la diffusione dei dati e conoscenze	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, Dip Ambiente, Dip Urbanistica,		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Breve termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Promozione della diffusione e dell'applicazione di conoscenze locali e tradizionali di gestione del suolo e dell'acqua
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo risorse idriche
Tipologia azione	Non strutturale soft
Obiettivi Agenda 2030	15.2
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Valorizzare e recuperare le tecniche tradizionali sostenibili per una gestione diffusa sul territorio coordinate con le esigenze di produttività principalmente del comparto agricolo e forestale
Livello territoriale	Regionale
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, DRSRT) in collaborazione con i Consorzi Bonifica	
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio termine
Livello priorità	Medio

Titolo azione	Promozione di programmi di formazione, informazione e consapevolezza	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo, risorse idriche, riduzione impatto attività produttive	
Tipologia azione	Non strutturale soft	
Obiettivi Agenda 2030	15.2	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Migliorare le competenze e capacità di gestione degli operatori del comparto agricolo e forestale per una gestione sostenibile e di salvaguardia del territorio	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (Dip Agricoltura)		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Individuazione delle tecnologie e dei metodi da adottare con attenzione alle soluzioni più innovative, tenendo conto delle conoscenze locali e dei caratteri propri delle aree e dei problemi	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo, risorse idriche, riduzione impatto attività produttive	
Tipologia azione	Non strutturale soft	
Obiettivi Agenda 2030	15.2, 2.4	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Migliorare le competenze e capacità di gestione degli operatori del comparto agricolo e forestale per una gestione sostenibile e di salvaguardia del territorio	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, DRSRT) in collaborazione con i Consorzi Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Contrasto dell'erosione in agricoltura	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo riduzione impatto attività produttive	
Tipologia azione	Ecosistemico – verde	
Obiettivi Agenda 2030	15.2, 2.4	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Adozione di pratiche agricole e tecniche colturali di contrasto all'erosione in agricoltura e attuazione di sistemazioni idraulico agrarie nelle sistemazioni fondiarie	
Livello territoriale	Sovra locale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, DRSRT) in collaborazione con i Consorzi Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico, misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Breve - medio termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Protezione e ripristino delle zone umide	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo, risorse idriche, riduzione impatto attività produttive	
Tipologia azione	Ecosistemico – verde	
Obiettivi Agenda 2030	15.5	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Contrastare il fenomeno della salinizzazione dei suoli e delle falde idriche nelle aree costiere	
Livello territoriale	Locale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, DRSRT) in collaborazione con i Consorzi Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio termine	
Livello priorità	Basso	

Titolo azione	Incremento della copertura vegetale nelle zone aride o degradate	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo	
Tipologia azione	Ecosistemico - verde	
Obiettivi Agenda 2030	15.2, 15.3 15.4, 15.5	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Contrastare i fenomeni di erosione e i fenomeni di degrado da incendio	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, DRSRT) in collaborazione con i Consorzi Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Forestazioni dei terreni degradati e soggetti ad erosione e interventi diffusi di rinaturalizzazione	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo	
Tipologia azione	Ecosistemico – verde	
Obiettivi Agenda 2030	15.2, 15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Contrastare i fenomeni di erosione accelerata nelle più esposte	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, DRSRT CCFRS) in collaborazione con i Consorzi Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Ripristino di un adeguato contenuto di sostanza organica nei suoli	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo	
Tipologia azione	Ecosistemico – verde	
Obiettivi Agenda 2030	15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Ripristinare e migliorare la capacità ecosistemica del suolo limitando il ricorso a concimi inorganici, ed aumentando l'uso di concimi organici e compost, ovvero l'utilizzazione di biomasse di rifiuto e scarto	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (Dip. Agricoltura e DAR).		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico, misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Lungo termine	
Livello priorità	Medio	

Titolo azione	Sviluppo e diffusione di nuovi e tradizionali sistemi di accumulo dell'acqua piovana, di fitodepurazione delle acque reflue e di loro utilizzo	
Settore d'intervento del PAN	Risorse idriche	
Tipologia azione	Ecosistemico – verde	
Obiettivi Agenda 2030	6.4,15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	razionalizzare l'utilizzo delle risorse idriche e conseguire il risparmio delle stesse	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (Adb, Dip. Agricoltura, DRSRT, DAR).		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico, misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Misure di ritenzione idrica naturale (NWRMs)
Settore d'intervento del PAN	Riequilibrio del territorio
Tipologia azione	Ecosistemico – verde
Obiettivi Agenda 2030	15.3, 15.5
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	La misura è finalizzata a ripristinare o potenziare le funzioni ecosistemiche di formazione deflussi e di laminazione delle piene. Essa prevede la realizzazione di interventi quali le infrastrutture Verdi
Livello territoriale	Regionale, sovralocale, locale
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip Agricoltura, DRSRT CCFRS) in collaborazione con i Consorzi Bonifica	
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine
Livello priorità	Medio

Titolo azione	Sviluppo della disponibilità di risorse idriche di buona qualità	
Settore d'intervento del PAN	Risorse idriche	
Tipologia azione	Infrastrutturale e tecnologico o grigia	
Obiettivi Agenda 2030	6.4, 15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Ottimizzare la capacità d'invaso e l'uso delle risorse idriche e in particolare completare le iniziative finalizzate a portare a collaudo tutte le dighe gestite dalla Regione Siciliana al fine di ripristinare l'originaria capacità di accumulo. Limitare l'eccessivo interrimento delle dighe realizzando interventi di contrasto all'erosine nei bacini idrografici a monte degli invasi	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione (AdB, DAR DRSRT)		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Efficienza dell'utilizzo irriguo	
Settore d'intervento del PAN	Risorse idriche	
Tipologia azione	Infrastrutturale e tecnologico o grigia	
Obiettivi Agenda 2030	2.4, 6.4, 15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Conseguire il risparmio delle risorse idriche in agricoltura con la diffusione dei metodi di irrigazione a goccia o comunque a risparmio idrico	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB, Dip. Agricoltura DRSRT) in collaborazione con i Consorzi di Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico, misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Razionalizzazione e risparmio idrico	
Settore d'intervento del PAN	Risorse idriche	
Tipologia azione	Non strutturale soft	
Obiettivi Agenda 2030	6.4,15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Lotta alla dispersione idrica Attività di contrasto ai prelievi abusivi da effettuare in coordinamento con i consorzi di bonifica e con le attività di polizia idraulica sul territorio e con il Comando del Corpo Forestale della Regione Siciliana	
Livello territoriale	Locale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (Adb, DRSRT CCFRS)		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Breve termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Contrasto dei processi di Salinizzazione del terreno agrario	
Settore d'intervento del PAN	Protezione del suolo, risorse idriche, riduzione impatto attività produttive	
Tipologia azione	Non strutturale soft	
Obiettivi Agenda 2030	2.4, 15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Riduzione dell'apporto salino delle acque irrigue mediante aumento dell'efficienza irrigua, riduzione del tenore salino delle acque irrigue mediante sostituzione o miscelazione con risorse a basso tenore salino, uso di tecniche di coltivazione fuori suolo Adozione di pratiche agricole idonee ad ottimizzare il potere dilavante delle piogge, mediante sistemazioni idonee a limitare il ruscellamento superficiale, gestione del suolo favorevole all'infiltrazione, ad esempio mediante inerbimento ed uso di ammendanti, utilizzo della tecnica del drenaggio.	
Livello territoriale	sovralocale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (DRSRT, Dip. Agricoltura) in collaborazione con I Consorzi di Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico, misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Medio	

Titolo azione	Riduzione delle perdite nelle reti di distribuzione idropotabili
Settore d'intervento del PAN	Risorse idriche
Tipologia azione	infrastrutturale e tecnologico o grigia
Obiettivi Agenda 2030	6.4, 15.3
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Realizzazione di interventi di riduzione delle perdite, ammodernamento delle reti e realizzazione di sistemi di telecontrollo
Livello territoriale	Regionale
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (ADB, DAR) e ATI	
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine
Livello priorità	Alto

Titolo azione	Lotta al dissesto idrogeologico a livello di versanti	
Settore d'intervento del PAN	Riequilibrio del territorio	
Tipologia azione	Ecosistemico - verde	
Obiettivi Agenda 2030	15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Manutenzione del territorio con tecniche d'ingegneria naturalistica	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (ADB, DRSRT, Dip Agricoltura) in collaborazione con Consorzi di Bonifica		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico, privato, misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	medio lungo termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Interventi di consolidamento dei versanti in frana	
Settore d'intervento del PAN	Riequilibrio del territorio	
Tipologia azione	infrastrutturale e tecnologico o grigia	
Obiettivi Agenda 2030	15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Realizzazione di interventi di difesa idrogeologica e consolidamento dei versanti	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB)		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Prevenzione rischio idraulico	
Settore d'intervento del PAN	Riequilibrio del territorio	
Tipologia azione	Non strutturale soft	
Obiettivi Agenda 2030	13.2	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Interventi di verifica idraulica dei manufatti esistenti (tombini, ponti e ponticelli) connessi a infrastrutture viarie e idrauliche	
Livello territoriale	Regionale, sovralocale, locale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (AdB) in collaborazione con gli Enti Locali. Ed enti gestori infrastrutture		
Strumento finanziario per la realizzazione	Pubblico, privato, misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Breve - medio termine	
Livello priorità	Alto	

Titolo azione	Gestione sostenibile delle trasformazioni territoriali	
Settore d'intervento del PAN	Riequilibrio del territorio	
Tipologia azione	Non strutturale soft	
Obiettivi Agenda 2030	15.3	
OBIETTIVI E DESCRIZIONE:	Aggiornamento degli strumenti di pianificazione secondo criteri di sostenibilità di riduzione del consumo di suolo e principi di invarianza idrologica e idraulica. Aggiornamento disciplina urbanistica e delle trasformazioni territoriali	
Livello territoriale	Regionale	
AUTORITA' COMPETENTE : Amministrazione Regionale (ADB, DRU DRA) in collaborazione con gli Enti Locali.		
Strumento finanziario per la realizzazione	Misto	
TEMPI PER L'IMPLEMENTAZIONE:	Medio - lungo termine	
Livello priorità	Alto	

5 Bibliografia

- Abdulla F.A., Lettenmaier D.P., (1997), Application of regional parameters estimation schemes to simulate the water balance of a large continental river. *Journal of Hydrology* 197 (1997) 258-285.
- Adamowski K., Bougadis J., (2003), Detection of trends in annual extreme rainfall. *Hydrological processes* 17: 3547-3560, 2003.
- Agnese C., Bagarello V., Nicastro G., (2002), Alterazione di alcuni caratteri del regime pluvio-termometrico siciliano nel periodo 1916-1999. *Atti convegno AIAM*, 2002.
- Allen R. G., Pereira L. S., Raes D., Smith M., 1998. Crop evapotranspiration. Guidelines for computing crop water requirements. *FAO Irrigation and Drainage Paper* 56, Roma.
- Angell J.K., (1988), Variations and Trends in Tropospheric and Stratospheric Global Temperatures, 1958-87, *Journal of Climate*, 1988, vol. 1, 1296-1313.
- ANPA (2001) Atlante degli indicatori del suolo. RTI CTN_SSC 3.
- Antolini G., Zinoni F., Selvini A., 2004. Specializzazione delle previsioni meteorologiche per la stima delle gelate. In: CRPV, Centro Ricerche Produzioni Vegetali. "Previsione e difesa dalle gelate tardive - Risultati del progetto DIsGELO", *Notiziario Tecnico CRPV* n. 70, pp. 49-63, Cesena.
- Arisco G., Arnone G., Favara R., Greco D., Nigro F., Perricone M., Renda P. (2008) – Carta della vulnerabilità alla desertificazione della Regione Sicilia
- Arnell N.W., (1995), Grid Mapping and River Discharge, *Journal of Hydrology*, 167, 39-56.
- Arnell N.W., (1999), A simple water balance model for the simulation of streamflow over a large geographic domain. *Journal of Hydrology* 217 (1999) 314-335.
- Arnell N.W., (1999), Climate change and global water resources. *Global Environmental Change* 9 (1999) S31-S49.
- Arnell N.W., (1999), The effect of climate change on hydrological regimes in Europe: a continental perspective. *Global Environmental Change* 9 (1999) 5-23.
- Arnone G., Greco D., Renda P., Arisco G., Cusimano G., Favara R., Nigro F., Perricone M. (2008), Carta della vulnerabilità alla desertificazione della Sicilia. *Eurografica palermo*
- Aronica G., Cannarozzo M., Noto L.V., (2002), Investigating the change in extreme rainfall series recorded in a urbanised area. *Water Science and Technology*, 2002, 45 (2), 49-54.
- Auberville G., (1949), *Climate, Forests, et Desertification de l'Afrique Tropicale* Societe des Editions Geographique, Maritimes et Coloni.
- Bagnouls F., Gassen H., (1953), Saison sèche et indice xérothermique, *Doc. Pour les cartes des prod. Vég; série Généralités III* : 1-48.
- Balling R.C., Idso S.B., (1989), Historical temperature trends in the United States and the effect of urban population growth, *Journal of Geophysical Research*, 1989, vol. 94, 3359-3363.
- Bandinelli G. (2000), metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 sulle Aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sardegna, sulla base di parametri meteorologici e Fisiografici e pedologici. Sassari.
- Barbera B., Niccoli R., Piccione V. (a cura di) (2005), Carta delle aree sensibili alla desertificazione in Calabria. Pubblicazione Calabria. Rubbettino editore.
- Bellin N., Wesemael van B., Meerkerk A.L., Gonzalez Barbera G., (2007), Changes in field patterns increase the risk of hydrological connectivity: a case study for the period 1956-2006 in a catchment of Murcia region, Spain.
- Bellotti A., Faretta S., Ferrara A., Mancino G., (2005), Carta delle aree sensibili alla desertificazione della regione Basilicata. Dipartimento di scienze dei sistemi

- colturali, forestali e dell'ambiente, Università della Basilicata, Regione Basilicata, Dipartimento ambiente e territorio.
- Bishop G.D., Church M.R., (1992), Automated Approaches for Regional Runoff Mapping in the Northeastern United States, *Journal of Hydrology*, 138, 361-383.
 - Bishop G.D., Church M.R., (1995), "Mapping Long-Term Regional Runoff in the Eastern United States Using Automated Approaches," *Journal of Hydrology*, 169, 1, 189-207.
 - Bloomfield P., (1992), Trends in global temperature, *Climate change*, (1992), vol. 21, 1-16.
 - Bonaccorso, A. Cancelliere, G. Rossi, (2005), Detecting trends of extreme rainfall series in Sicily. *Advances in Geosciences*, 2005, 2, 7-11.
 - Bono E., (2003), Tecniche di interpolazione spaziale finalizzate alla ricostruzione delle serie storiche di dati climatici. Università degli studi di Palermo.
 - Bono E., (2005), Tecniche di interpolazione spaziale finalizzate alla ricostruzione delle serie storiche di dati climatici. Tesi di laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Università di Palermo, 2005.
 - Bono E., La Loggia G., Noto L.V., (2005), Spatial interpolation methods based on the use of elevation data, *Geophysical Research Abstracts*, 2005, Vol. 7, 08893.
 - Bove M., Brindisi P., Glisci C., Pacifico G., Summa M.L., (2005), "indicatori climatici di desertificazione in Basilicata," *Forest@* 2(1): 74-84.
 - Bovo V., Gaetan C., Villi V., (2003), Massimi annuali delle piogge giornaliere del Triveneto. Un'analisi statistica per la verifica della presenza di trend, *L'acqua*, 5, 2003, 19-27.
 - Bradley R.S., Diaz H.F., Eischeid J.K., Jones P.D, Kelly P.M., Goodness C.M., (2000), Precipitation fluctuations over northern hemisphere land areas since the mid-19th century. *Science*, 1987, 237: 171-175.
 - Brandt J., Geeson N. & Imeson A. (2003). A desertification indicator system for Mediterranean Europe. DESERTLINKS Project (www.kcl.ac.uk/desertlinks)
 - Brunetti M., Buffoni L., Mangianti F., Maugeri M., Nanni T., (2004), Temperature, precipitation and extreme events during the last century in Italy, *Global and Planetary Change*, 2004, vol. 40, 141-149.
 - Brunetti M., Maugeri M., Nanni T., (2000), Variations of temperature and precipitation in Italy from 1866 to 1995. *Theor. Appl. Climatol.*, 65, 165-174.
 - Budyko M.I., (1958), The heat balance of earth's surface. *Gidromet. izdatelsob. Leningrad* (1958).
 - Buffoni L., Maugeri M., Nanni T., (1999): Precipitation in Italy from 1833 to 1996. *Theor. Appl. Climatol.*, 63, 33-40.
 - Burn D.H., Hag Elnur M.A., (2002), Detection of hydrologic trends and variability. *Journal of Hydrology* 255: 2002, 107-122.
 - Cacciamani D., Lazzeri M., Selvini A., Tomozeiu R., Zuccherelli A., (2001), Evidenza di cambiamenti climatici sul Nord Italia. Parte 1: Analisi delle temperature e delle precipitazioni. *Quaderno tecnico Arpa-SMR n°04/20*, (2001).
 - Calvi F., Catena P., Cibella R., Cirasa A., Dolce F., Drago A., Ferraro V., Galvano D., Ganci A., Gendusa F., Giordano R., Granata A., Guaitoli F., Lo Bello A., Matranga M. G., Noto M.T., Perricone M. (2011), Carta della sensibilità alla desertificazione in Sicilia scala 1:250000. Assessorato Agricoltura E Ambiente, Palermo
 - Cancellieri F., Piccione V., Veneziano V. (2017), Principali studi sul rischio desertificazione in Sicilia. *Geologia dell'Ambiente Vol. 1/2017*
 - Cannarozzo M., (1995), Analisi statistica delle precipitazioni registrate in Sicilia finalizzata allo studio dei cambiamenti climatici. *Sviluppo agricolo* 3-4, 1995.
 - Cannarozzo M., Liuzzo L., Noto L.V., Viola F., (2006), Distribuzione spaziale dei trend pluviometrici in Sicilia (1921-2000). *Atti del XXX Convegno di Idraulica e Costruzioni Idraulica*, Roma, 2006.

- Carnemolla S., A. Drago, M. Perciabosco, F. Spinnato (2002) Metodologia per la redazione di una carta in scala 1:250.000 sulle aree vulnerabili al rischio di desertificazione in Sicilia.
- Ceccarelli T., Giordano F., Luise A., Perini L., Salvati L. (2006), la vulnerabilità alla desertificazione in Italia: raccolta, analisi, confronto e verifica delle procedure cartografiche di mappatura e degli indicatori a scala nazionale e locale. APAT, CRA, CNLSD, manuali e linee guida 40/2006 pp 1-128.
- Chen Y., Tang H., (2005), Desertification in north China: background, antropogenic impact and failure in combating it, Land. Degrad. Develop. 16,367-376.
- Chiarantini L., (1996), Abruzzo Region: Soils, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) "MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification".
- Coles S., Heffernan J., Tawn J., (1999), Dependence measures for extreme value analyses, Extremes (1999), 2(4), pp. 339 – 365.
- Comitato Nazionale Per La Lotta Alla Desertificazione (1998). Comunicazione nazionale alla Convenzione delle Nazioni Unite per la lotta contro la desertificazione nei paesi gravemente colpiti dalla siccità e/o desertificazione, con particolare urgenza in Africa (UNCCD). www.desertification.it
- Comitato Nazionale Per La Lotta Alla Desertificazione (1999). Carta delle Aree Vulnerabili al Degrado del Territorio e Sensibili al Fenomeno della Desertificazione. Redazione a cura del Servizio Idrografico e Mareografico Nazionale - Dip. Servizi Tecnici Nazionali - Ministero dell'Ambiente.
- Conese C., (1996), Abruzzo Region: GIS, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) "MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification".
- Costantini E.A.C. (a cura di) (2007). Linee guida dei metodi di rilevamento e informatizzazione dei dati pedologici. CRA – ABP, Firenze.
- Costantini E.A.C. (coordinatore) (2006). Metodi di valutazione dei suoli e delle terre. Edizioni Cantagalli, Siena
- Ferrara A., Bellotti A., Faretta S., Mancino G., D'Ottavio A., P. Baffari, V. Trivigno (2004). Carta delle aree sensibili alla desertificazione in Basilicata (Progetto DesertNet).
- De Luis M., Raventòs J., Gonzàles-Hidalgo J.C., Sánchez J.R., Cortina J., (2000), Spatial analysis of rainfall trends in the region of Valencia (East Spain). International Journal of Climatology, 2000, 20: 1451-1469,
- De Luis M., Raventòs J., Gonzàles-Hidalgo J.C., Sánchez J.R., Cortina J., García-Cano M.F., (1998), Analysis of maximum daily probability precipitation for different returns period: comparison among three different methods on Mediterranean conditions. In Proceedings of the 15th International Sedimentological Congress. Publicaciones de la Universidad de Alicante: Alicante, Spain; 287-288, 1998.
- De Martonne F., (1926) L'indice d'aridite. Bull. Ass. Geogr. de France. Vol. IX, (1926).
- Desernet (2004), Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione. Wp a10 - azione pilota in Toscana. CNR – IBIMET,
- DISforME Project - Sito web: <http://www.kcl.ac.uk/projects/desertlinks/>
- DISMED (2003). Map of Sensitivity to Desertification and Drought in the Mediterranean Basin - Italy (http://dismed.eionet.eu.int/Facilities/dismmed_products)
- Douglas E.M., Vogel R.M., Kroll C.N., (2000), Trends in floods and low flows in the United States: impact of spatial correlation. Journal of Hydrology, 2000, 240, 90-105.

- Drago A., 2002. Atlante climatologico della Sicilia, seconda edizione. Regione Siciliana, Assessorato Agricoltura e Foreste, Servizio Informativo Agrometeorologico Siciliano, Palermo.
- Dregne H.E., (1984). Combating desertification: Evaluation of progress. *Environm Conserv*, 11(2): 115-121.
- Drogue, L. Pfister, T. Leviandier, A. El Idrissi, J. F. Iffly, P. Matgen, J. Humbert, L. Hoffmann, (2004), Simulating the spatio-temporal variability of streamflow response to climate change scenarios in a mesoscale basin. *Journal of Hydrology*, 293 (2004) 255-269.
- Duro A., Piccione V., Ragusa A., Rapisavoli R.V., Veneziano V. (2016), An index monitoring the sensitivity to desertification: espi. Seventh workshop dynamical systems applied to biology and natural Sciences, évara, portugal, february 2-5, 2016. Pp 43-44.
- Duro A., Piccione V., Ragusa A., Veneziano V. (2014), New environmentally sensitive patch index (espi) for Medalus protocol. Aip conference proceedings 1637; (AIP) American Institute of Physics <http://dx.doi.org/10.1063/1.4904593> pp 305-312
- Duro A., Piccione V., Ragusa A., Veneziano V. (2015), The enviromentally sensitive index patch applied to Medalus climate quality index. Aip conference Proceedings; (AIP) American Institute Of Physics.
- Easterling D.R., Horton B., Jones P.D., Peterson T.C., Karl T. C., Parker D.E., Salinger M.J., Razuvayev V., Plummer N., Jamason P., Folland C.K., (1997), Maximum and minimum temperature trends for the globe. *Science*, 1997, vol. 277, no5324, pp. 364-367.
- Easterling D.R., Meehl G.A., Permesan C., Changnon S.A., Karl T.R., Mearns L.O., (2000), Climate extremes: observations, modeling, and impacts. *Science*, 2000, 289: 2068-2074.
- Efron B., Tibshirani R.J., (1993), An introduction to the bootstrap. Chapman and Hall, International Thomson Publication, New York, USA, 1993.
- Emberger L., (1955), Une classification biogéographique des climats. *Recueil des travaux. Fac. Sc de l'Univ. de Montpellier. Fasc. 7* (1955).
- Enne G., Zucca C. (2000) Indicatori di desertificazione per il Mediterraneo europeo: stato dell'arte e proposte di metodo, ANPA. Rome ISBN – 88-448-0272-4.
- FAO/UNEP, (1984), Provisional Methodology for assessment and mapping of desertification. Published by FAO in 1984. ISBN 92-5-101442-6.
- FAO/UNEP/UNESCO (1979), A provisional methodology for soil degradation assessment. Rome: FAO.
- FAO/UNEP/UNESCO/WMO (1977), World map of Desertification. United nations conference on Desertification, nairobi, 29 august-9 september 1977, document a/conf.74.2.
- Ferrara A., A. Bellotti, S. Faretta, G. Mancino, M. Taberner (1999). Identification and assessment of Environmentally Sensitive Areas by Remote Sensing. MEDALUS III 2.6.2. OU Final Report.
- Ferrara A., A. Bellotti, S. Faretta, G. Mancino, P. Baffari, A. D'ottavio, V. Trivigno (1999). Map of environmental sensitivity areas to desertification for the Basilicata region, Italy.
- Ferro V., (2008). Atlante della qualità dei suoli del bacino del fiume Imera Meridionale.
- Ferro V., (2008). Linee guida per l'applicazione della Universal Soil Loss Equation (USLE) in ambiente mediterraneo. Quaderni di Idronomia Montana 28/1.
- Fierotti G. (1997), I suoli della sicilia. Dario Flaccovio Editore, Palermo.
- Fierotti G., (1999), I suoli di fronte all'irrigazione con acque anomale. In Atti del Convegno "Un programma di valorizzazione territoriale per il meridione d'Italia",

- Lagopesole (Potenza), 15-16 luglio 1997. Boll. Soc. It. Scienza del Suolo, 48 (1), 179-199.
- Filson G.C., (2001), "agroforestry extension and the western China development strategy".
 - Folland C.K., Miller C., D. Bader, Crowe M., Jones P., Plummer N., Rishman M., Parker D.E., Rogers J., Scholefield P., (1999), Workshop on Indices and Indicators for Climate Extremes, Asheville, NC, USA, 3 – 6 June 1997, Breakout Group C: Temperature Indices for Climate Extremes, Climatic Change, 1999, 42, 31–41.
 - Frega F., Piro P., Carbone M., (2007), " Identificazione di aree sensibili alla desertificazione (Esas). Applicazione alla regione Calabria". L'Acqua, 2007, Vol. 2, pp. 55-66.
 - Genesio L., R. Magno, V. Capecchi, A. Crisci, L. Bottai, R. Ferrari, L. Angeli, L. Gardin (2004). Integrazione dei dati climatici, telerilevati e socio-economici per la definizione di indicatori di vulnerabilità alla desertificazione (Progetto DesertNet).
 - Giordano L., Giordano F., Grauso S., Iannetta M., Rossi L., Sciortino M., Bonati G. (2002), Individuazione delle zone sensibili alla desertificazione nella Regione Siciliana. Enea. Roma.
 - Gleick P.H., (1996), Basic water requirements for human activities: meeting basic needs. Water International 21, (1996), 83-92.
 - Graham N. E., (1995), Simulation of recent global temperature trends. Science, 1995, vol. 267, no 5198, 666-671.
 - Groisman P.Y., Legates D.R., (1995), Documenting and detecting long-term precipitation trends: where we are and what should be done. Climate Change 31: (1995), 601-622.
 - Guo S., Wang J., Xiong L., Ying A., Li D., (2002), A macro-scale and semi-distributed monthly water balance model to predict climate change impacts in China. Journal of Hydrology 268 (2002) 1–15.
 - Hammond E., Matthews E., (1999), Critical consumption trends and implications: Degrading Earth's ecosystems Washington, DC, World Resources Institute [WRI].
 - Hansen J., Ruedy R., Sato M., Reynolds R., (1996), Global surface air temperature in 1995: Return to pre-Pinatubo level. Geophys. Res. Lett., 1996, 23, 1665-1668.
 - Hargreaves G.H., Samani Z.A. (1985), Reference crop evapotranspiration from temperature. Applied Engrg. in Agric., 1(2): 96-99.
 - Hargreaves G.H., Samani Z.A., (1982), Estimating potential evapotranspiration. Tech. Note, J. Irrig. and Drain. Engrg., ASCE, 108(3): 225-230.
 - Hirsch R.M., Slack J.R., R.A. Smith, (1982), Techniques of trend analysis for monthly water quality data. Water Resources Research 18, 1982, 107–121.
 - Hofmann A., Cibella R., Bertani R., Miozzo M., Fantoni I., Luppi S. (a cura di) 2011 – Strumenti conoscitivi per la gestione delle risorse forestali della Sicilia. Sistema Informativo Forestale. Assessorato Territorio ed Ambiente. Regione Siciliana 208 pp.
 - Hosking J. R., Wallis M., (1997), Regional frequency analysis: an approach based on L-moments. Cambridge, England: Cambridge University Press.
 - Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K., (eds), (1996), Climate Change. The IPCC Second Assessment Report. Cambridge University Press: New York, 572 pp., 1996.
 - Hulme M., (1996), Recent climatic change in the world's drylands. Geophysical research letters, 1996, vol. 23, 61-64.
 - Hunt B.G., (1998), Natural climatic variability as an explanation for historical climatic fluctuations. Climatic Change, 1998, 38: 133–157.
 - Huntington T.G., (2006), Evidence for intensification of the global water cycle: Review and synthesis. Journal of Hydrology, 2006, 319, 83–95.
 - IPCC, Climate Change (2007), The Physical Science Basis Working Group I Contribution to the Fourth Assessment Report of the IPCC, Edited by S. Solomon,

- D. Qin, M. Manning, M. Marquis, K. Averyt, M.M.B. Tignor and H.L. Miller, Cambridge University Press: Cambridge, 2007.
- IPCC, In Climate Change (1995), The Science of Climate Change. Houghton J.T., Meira Filho L.G., Callander B.A., Harris N., Kattenberg A., Maskell K. (eds). Cambridge University Press: Cambridge, 1996.
 - ISSDS, INEA, Regione Sardegna, Regione Sicilia, Regione Calabria, Regione Puglia (2005). Atlante Nazionale delle aree a rischio di desertificazione. ISTAT - Atlante Statistico dei Comuni, ed 2005 e 2008
 - ISTAT 2001. V Censimento Nazionale dell'Agricoltura. Database on line: sezione 5-Consistenza degli allevamenti.
 - JRC – INEA (2003). Identification of Environmentally Sensitive Areas (ESAs) in the country of the Annex IV (Portugal, Spain, Italy, Greece, Turkey) UNCCD convention – brief methodological note.
 - Karl T.R., Jones P.D., Knight R.W., Kukla G., Plummer N., Razuvayev V., Gallo K.P., Lindsey J., Charlson R.J., Peterson T.C., (1993), A new perspective on recent global warming: asymmetric trends of daily maximum and minimum temperature. Bulletin of the American Meteorological Society, 1993, vol. 74, 1007–1023
 - Karl T.R., Knight R.W., Plummer N., (1995), Trends in high-frequency climate variability in the twentieth century. Nature, 1995, 377: 217–220.
 - Kendall M.G., (1962), Rank correlation methods, 3rd ed, Hafner Publishing Company, New York, (1962).
 - Kendall M.G., Gibbons J.D., (1981), Rank Correlation Methods, 5th Ed., edited by E. Arnold, London, U. K., 320 pp., 1981.
 - Klein Tank A.M.G., Wijngaard J.B., Können G.P., Böhm R., Demarée G., Gocheva A., Miletta M., Pashiardis S., Hejkrlik L., Kern-Hansen C., Heino R., Bessemoulin P., Müller-Westermeier G., Tzanakou M., Szalai S., Pálsdóttir T., Fitzgerald D., Rubin S., Capaldo M., Maugeri M., Leitass A., Bukantis A., Aberfeld R., van Engelen A.F.V., Forland E., Miletus M., Coelho F., Mares C., Razuvaev V., Nieplova E., Cegnar T., Antonio López J., Dahlström B., Moberg A., Kirchhofer W., Ceylan A., Pachaliuk O., Alexander L.V., and Petrovic P., (2002). Daily dataset of 20th-century surface air temperature and precipitation series for the European Climate Assessment. *Int. J. Climatol.*, 22, 1441-1453.
 - Kosmas C., Ferrara A., Briassouli H., Imeson A. (1999a), Methodology for mapping environmentally sensitive areas (ESAs) to desertification. In: the Medalus project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. Edited by C. Kosmas, M. Kirkby, N. Geeson. European Union 18882; pp 31-47.
 - Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. (1999b), the MEDALUS Project. Mediterranean desertification and land Use. Manual on key indicators of desertification And mapping environmentally sensitive areas to Desertification. Eur 18882, bruxelles, belgium.
 - Kosmas C., Kirkby M., Geeson N. (1999c) The Medalus project. Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. European Commission.
 - Kosmas C., Moustakas N., Danalatos N.G., And Yassoglou N. 1995. The effect of land use change on soil properties and erosion along a catena. In: J. Brandt and J. Thornes (eds), Mediterranean desertification and land use, John Wiley & Sons, 271-299 pp.
 - Kosmas C., Poesen J., Briassouli H. (1999d), Key indicators of desertification at the esa scale. In: The MEDALUS project Mediterranean desertification and land use. Manual on key indicators of desertification and mapping environmentally sensitive areas to desertification. Edited by C. Kosmas, M. Kirkby, N. Geeson. European Union 18882; pp:31-47.

- Koster R.D., M.J. Suarez, (1999): A simple framework for examining the interannual variability of land surface moisture fluxes. *J. Clim.*, 12 (7) 1911-1917.
- Kothyari U.C., V.P. Singh, (1996), Rainfall and temperature trends in India. *Hydrological Processes*, 1996, vol. 10, 357-372.
- Kunkel K.E., Jr R.A., Pielker, S.A. Changnon, (1999), Temporal fluctuation in winter and climate extremes that cause economic and human health impact: a review. *International Journal of Climatology* 19, 1999, 1077-1098.
- Lang R., (1915), Versuch einer exakten Klassifikation der Boden in klimatischer und geologischer Hinsicht, *Internat. Mitt. für Bodenkunde*, 5, (1915).
- Lettenmaier D.P., E.F. Wood, (1994), Wallis, J.R. Hydro-climatological trends in the continental United States. *Journal of Climatology* 7, 1994, 586-607.
- Liebscher J., (1972), "Results of research on some experimental basins in the upper Harz Mountains (Federal Republic of Germany)", *Symposium of Wellington: Results of research on Representative and Experimental Basins*, IASH Pub. No. 97, 150-162.
- Livezey R.E., W.Y. Chen, (1983), Statistical field significance and its determination by Monte Carlo techniques. *Monthly Weather Review* 111, 1983, 46-59.
- Lo Guercio A., (1999), Il ruolo dell'Italia nella lotta alla desertificazione, CUEN. Ministero Dell'Ambiente, Protocollo d'intesa del 16 giugno 1998 tra il Ministero dell'ambiente e la FAO relativo alla lotta sulla desertificazione, *Gazzetta Ufficiale* n. 287 del 09-12-1998.
- Luise A., Viti S., Giordano F., Marra Campanale R. (2004) "Indicatori di desertificazione: aspetti generali, metodologie di mappatura delle aree sensibili, indici di aridità e di siccità, caratteristiche socio-economiche". Rapporto tecnico realizzato nell'ambito del Progetto DesertNet (Interreg IIIB).
- Maheras P., F. Kolyva-Machera, (1990), Temporal and spatial characteristics of annual precipitation over the Balkans in the twentieth century. *International Journal of Climatology* 10: 495-504.
- Mancino L., P. Claps, (2002), Impiego di classificazioni climatiche quantitative nell'analisi regionale del deflusso annuo, convegno di idraulica e costruzioni idrauliche, Potenza, 16-19 settembre.
- Mann H.B, (1945), Non parametric tests against trend, *Econometrica* 13, (1945) pp 245-259.
- Manton M.J., P.M. Della-Marta, M.R. Haylock, K.J. Hennessy, N. Nicholls, L.E. Chambers, D.A. Collins, G. Daw, A. Finet, D. Gunawan, K. Inape, H. Isobe, T.S. Kestin, P. Lefale, C.H. Leyu, T. Lwin, L. Maitrepierre, N. Ouprasitwong, C.M. Page, J. Pahalad, N. Plummer, M.J. Salinger, R. Suppiah, V.L. Tran, B. Trewin, I. Tibig, D. Yee, (2001), Trends in extreme daily rainfall and temperature in Southeast Asia and the South Pacific: 1961-1998. *International Journal of Climatology*, 2001, vol. 21, 269-284.
- Mariani L., (1996), Abruzzo Region: Meteorology, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) "MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification".
- Marini A., L. Naitza, D. Macciotta, S. Orrù (2004). La cartografia delle aree a rischio desertificazione (Progetto DesertNet)
- Maugeri M., T. Nanni, (1993), Surface air temperature variation in Italy: recent trends and an update to 1993. *Theoretical and Applied Climatology*, 1998, vol. 61, 191-196.
- McClure B.C., (1998), "Policies related to combating desertification in the United States of America," *Land. Degrad. Develop.* 9, 383-392.
- McKee T.B., N.J. DOESKEN, J. KLEIST, (1993), The relationship of drought frequency and duration to time scales, *Preprints, 8th Conference on Applied Climatology*, 17-22 January, Anaheim, CA, Amer. Meteor. Soc., 179-184.

- Meigh J.R., A.A. McKenzie, K.J. Sene, (1999) A grid-based approach to water scarcity estimates for Eastern and Southern Africa. *Water Resources Management* 13: 85-115.
- Montanarella L. (2001), Indicazione delle aree vulnerabili alla desertificazione in puglia. In: documenti del territorio n. Speciale monografico. Il sistema informativo territoriale della regione Puglia.
- Montanarella L., Baracchini R., Rusco E. (2000), indicazione delle aree vulnerabili in puglia. Eur 19590 it.
- Motroni A., Canu S., Bianco G., Loj G. (2003), Carta delle aree sensibili alla desertificazione in sardegna. N. 16 fogli in scala 1:100.000, 3 ottobre 2003, cagliari. Stampa in proprio ERSAT Geoesplora, Roma 27 maggio 2004.
- Motroni A., Canu S., Bianco G., Loj G. (2004), Carta delle aree sensibili alla desertificazione (environmentally Sensitive areas to desertification, Esas) servizio agrometeorologico regionale per La Sardegna. Pp 46.
- Murray M., (1953), On the causes of instrumentally observed secular temperature trends. *Journal of the Atmospheric Sciences*, 1953, 10, 244-261.
- Niccolai M., (1996), Abruzzo Region: Climatology, Remote Sensing and Socio-economics, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) "MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification". OECD core set of indicators for environmental performance reviews
- Ol'dekop E.M., (1911). On evaporation from the surface of river basins. *Trans. Met. Obs. Iur-evskogo, Univ. Tartu* 4 in Russian.
- Palmieri S., A. Siani, A. D'Agostino, (1994), Tendenze evolutive e fluttuazioni climatiche, AER-Marzo 1994.
- Parry M., N. Arnell, T. McMichael, R. Nicholls, P. Martens, S. Kovats, M. Livermore, C. Rosenzweig, A. Iglesias, G. Fischer (2000), Millions at risk: defining critical climate change threats and targets. *Global Environmental Change* 11 (2001) 181-183.
- Pater S., D. Pater, (1999), "combating the expansion of the Gobi Desert, illustrated at the exsample of Shaanxi Province (China)," Rebuilt the Green. Self-presentation of the Shaanxi Province Forestry Board.
- Piccione V., Veneziano V., Malacrino V., Campisi S. (2009), rischio desertificazione regione Sicilia (protocollo Medalus). Mappe di sensibilità e Incidenza territoriale a scala comunale del processo in divenire. *Quad. Bot. Ambientale appl*, Vol. 20/1, pp 3 - 250.
- Piervitali, M. Colacino, M. Conte, (1997), Signals of climatic change in the Central-Western Mediterranean basin. *Theoretical and Applied Climatology*, 1997, 211-219.
- Piervitali, M. Colacino, M. Conte, (1998), Rainfall over Central-Western Mediteranean Basin in the period 1951-1995. Part 1: precipitation trends. *Nuovo Cimento* 21C (3), (1998), 331- 334.
- Pike J.G., (1964), The estimation of annual runoff from meteorological data in a tropical climate. *J. Hydrol.* 2, 116-123.
- Pimenta M.T., Santos M.J., Rodrigues R. (1997), a proposal of indices to identify desertification pron areas. *Ccd Portugal - Instituto Da Agua, Murcia*, 22-23 may 1999.
- Polemio M., D. Casarano, (2004), Rainfall and drought in southern Italy (1821-2001), *The Basis of Civilization - Water Science. IAHS Publ.*, 286: 217-227.
- Postiglione L., (1996), Agri Basin: Vegetation Survey, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS II Project 4) "MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification".
- Previtali F., (1996), Abruzzo Region and Sardinia: Geomorphological Processes, in Final Report Covering the Period 1 January 1991 to 30 September 1995, (MEDALUS

- II Project 4) "MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use - Managing Desertification".
- Prudhomme, D. Jakob, C. Svensson, (2003), Uncertain and climate change impact on the flood regime of small UK catchments. *Journal of Hydrology*, 2003, 277: 1-23.
 - Quaranta, R. Salvia, (2006), (a cura di) – Riqualificazione e gestione del territorio, lotta alla desertificazione e sviluppo sostenibile. Franco Angeli, Milano.
 - Rigor I.G., R.L. Colony, S. Martin, (2000), Variations in Surface Air Temperature Observations in the Arctic, 1979–97. *Journal of Climate*, 2000, vol. 13, 896-914.
 - Romero R., J.A. Guijarro, S.A. Alonso, (1998), 30-year (1964-1993) daily rainfall data base for the Spanish Mediterranean region: first exploratory study. *International Journal of Climatology*, 1998, 18: 541-560.
 - Sankarasubramaian R.M., Vogel, (2002), "annual hydroclimatology of the United States," water resources research, vol. 38, no. 6, 1083, 10.1029/2001WR000619.
 - Santer B.D., T.M.L. Wigley, J.S. Boyle, D.J. Gaffen, J.J. Hnilo, D. Nychka, D.E. Parker, K.E. Taylor, (2000), Statistical significance of trends and trend differences in layer-average atmospheric temperature time series. *Journal of geophysical research*, 2000, vol. 105, 7337-7356.
 - Santini A., (1999), Application of the MEDRUSH Model to the Agri, in Final Report Covering the Period 1 January 1996 to 31 December 1998, (MEDALUS III Project 1) "MEDALUS: Mediterranean Desertification and Land Use".
 - Sauchyn D.J., E.M. Barrow, R.F. Hopkinson, P.R. Leavitt, (2002), "aridity on the Canadian Plains," *Geographie physique plains*, volume 56, numeri 2-3.
 - Sauquet E., L. Gottschalk, E. Leblois, (2000), "Mapping Average Annual Runoff: a Hierarchical Approach Applying a Stochastic Interpolation Scheme," *Hydrological Sciences Journal*, 45(6), 799-815.
 - Schreiber P., (1904). U" ber die Beziehungen zwischen dem Niederschlag und der Wasserfu"hrung der Flu"sse in Mitteleuropa. *Z. Meteorol.* 21 (10) 441–452.
 - Sciortino M. (2003) Qualità e ambiente – La lotta alla desertificazione, l'attività dell'ENEA con riferimento particolare alla Sicilia.
 - Sneyers R., (1992), Use and misuse of statistical methods for detection of climatic change. In *Climate Change Detection Project, Report on the Informal Planning Meeting on Statistical Procedures for Climate Change Detection*. WCDMP (20); J76-J81, 1992.
 - SOIL SURVEY STAFF (1994), Soil Survey Manual, Agricultural Handbook n. 18, USDA, Natural Resources Conservation Service, Washington D.C., USA.
 - Suppiah R., K.J. Hennessy, (1998), Trends in total rainfall, heavy rain events and number of dry days in Australia, 1910-1990. *International Journal of Climatology*, 1998, 10: 1141-1164.
 - Szabolcs, (1989), Salt-affected soils. Boca Raton, Fl: CRC Press. Thomas, H.A., 1981. Improved methods for national water assessment. Rep. Contract WR15249270, US Water Resource Council, Washington, D.C.
 - Thornes J. B., Mairotap., (1995), Medalus: Achievements and Prospects, in *Proceedings of the Conference held in Sassari, Italy, 25 May 1994 "Land Use and Soil Degradation: MEDALUS in Sardinia"*, eds. Enne G., Pulina G., Aru A., Alghero.
 - Thornthwaite C.W., (1948), An approach toward a rational classification of climate. *Geographical Review*, 38(1), (1948), 55-94.
 - Tomozeiu R., A. Busuioc, V. Marletto, F. Zinoni, C. Cacciamani, (2000), Detention of changes in the summer precipitation time series of the region Emilia-Romagna, Italy. *Theor. Appl. Clim.*, 2000, 67, 193–200.
 - Turkes M., (1998), Vulnerability of Turkey to Desertification With Respect to Precipitation and Aridity Conditions. *Tr. J. of Engineering and Environmental Science* 23 (1999) , 363 – 380. TUBITAK.

- UNCCD (1977). Desertification: its causes and consequences. Pergamon Press, Oxford, UK. UNEP (1997). World Atlas of Desertification (second Edition). London, Arnold Ed.
- UNEP, World Atlas of Desertification (1992).
- Varvaro S., Spazializzazione di variabili idrologiche per la derivazione di indici di vulnerabilità alla desertificazione. Tesi di Laurea in Ingegneria per l'Ambiente e il Territorio, Università degli Studi di Palermo, 2007.
- Ventura, P. Rossi Pisa, E. Ardizzoni, (1999), Temperature and precipitation trends in Bologna (Italy) from 1952 to 1999. Atmospheric Research, 2002, 61: 203
- Vinnikov K.Y., N.C. Grody, (2003), Global Warming Trend of Mean Tropospheric Temperature Observed by Satellites. Science, 2003, vol. 302, no 5643, 269-272.
- Vörösmarty C.J., B. Moore, (1991), Modelling basin-scale hydrology in support of physical climate and global biogeochemical studies: an example using the Zambesi river. Surv. Geophys. 12, (1991), 271-311.
- Wicht A., (2003), "lotta alla desertificazione," 10 rivista WWF, 4/2003.
- Xu C.Y., (1999), Climate change and hydrologic models: a review of existing gaps and recent research developments. Water Resources Management 13: (1999) 369–382.
- Yue S., C. Wang, (2004), The Mann-Kendall test modified by effective sample size to detect trend in serially correlated hydrological series. Water Resources Management, 2004, 18: 201-218.
- Zhang X., L.A. Vincent, W.D. Hogg, A. Niitsoo, (2000), Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century, Atmosphere-Ocean, 2000, 38(3), 395-429.